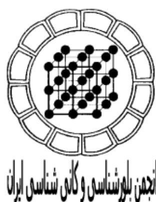
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۶۶۳ تا ۶۸۲



کانی‌شناسی و کانی‌شیمی بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی منور (تبریز)، شمال غرب ایران

افسون اخشانی[۱]، محسن موید*[۱]، نصیر عامل[۱]، امین اله کمالی[۲]، محمد فدائیان[۳]

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز ، تبریز، ایران
۲- گروه باستان سنجی و علوم طبیعی، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران
۳- دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۳/۱)

چکیده: منطقه مورد بررسی در شمال‌غرب ایران و در پهنه البرز غربی ــ آذربایجان قرار دارد. سنگ‌های میزبان بیگانه سنگ‌های مورد بررسی از نوع آندزیت بازالتی و آندزیت هستند. بیگانه سنگ‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی شامل انواع گابرویی و دیوریتی هستند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده بیگانه سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و کلینوپیروکسن و کانی‌های فرعی بیوتیت، ارتوپیروکسن و کانی‌های تیره هستند. بافت غالب بیگانه سنگ‌ها دانه‌ای و ریزسنگی پورفیری است. براساس شیمی کانی، ترکیب پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن و بیوتیت به ترتیب عبارتند از الیگوکلاز تا آندزین، چرماکیت تا هورنبلند، اوژیت و استونیت. آمفیبول-های بیگانه سنگ‌ها بر پایه مقدار Al^{IV} (کمتر از ۱/۵ درصد)، در قلمرو کرانه‌ی فعال قاره‌ای وابسته به فرورانش قرار دارند. دما-فشارسنجی بیگانه سنگ‌ها با استفاده از مقدار کاتیونی آلومینیوم کل، نشان دهنده فشار ۵٫۸±۰٫۶ کیلوبار و دمای حدود ۸۰۲ درجه‌ی سانتیگراد در محیط تبلور است. کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی با ترکیب نیمه قلیایی همخوانی خوبی با محیط زمین‌ساختی کمان ماگمایی دارند. همچنین کلینوپیروکسن‌ها در فشارهای کم تا متوسط تشکیل شده‌اند که بیانگر تبلور آنها طی صعود ماگما و در اعماق متفاوت است. مقدار آهن سه ظرفیتی در کلینوپیروکسن‌ها نشان‌دهنده گریزندگی بالای اکسیژن ماگماست. کلینوپیروکسن‌های بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی در فشار ۱۲ کیلوبار و دمای حدود ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *بیگانه سنگ؛ دیوریت-گابرو؛ کانی شیمی؛ منور.*

مقدمه

منطقه مورد بررسی در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان شرقی واقع است. این منطقه در پهنه البرز غربی و آذربایجان و پهنه ماگمایی ترشیاری قرار دارد (شکل ۱ الف) [۱]. سنگ‌های آتشفشانی موجود در این منطقه به طول حدود ۷۰ کیلومتر و تقریبا موازی با گسل تبریز با روند شمال غرب- جنوب شرق دیده می‌شوند. با توجه به شواهد چینه‌شناسی، سن آتشفشانی این مجموعه از میوسن پسین تا پلیو- کواترنر است. در این منطقه، دو نوع متفاوت از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب اسیدی و بازیک با ضخامت حدود ۷۰۰متر برونزد دارند. شروع فعالیت آتشفشانی با خروج فراورده‌های اسیدی و مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرآواری همراه بوده است. سنگ‌های سطحی آواری وابسته به دوره‌های آرامش و خاموشی آتشفشان در میان این توالی آتشفشانی برونزد دارند. روی این واحدهای آتشفشانی، گدازه‌های بازالتی قلیایی الیوین‌دار با ساختار منشوری قرار دارند [۲]. سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت بازالتی و آندزیتی) منطقه منور دارای بیگانه سنگ‌های گابرویی و دیوریتی هستند. تاکنون پژوهش‌هایی پیرامون این بیگانه سنگ‌ها انجام نشده،

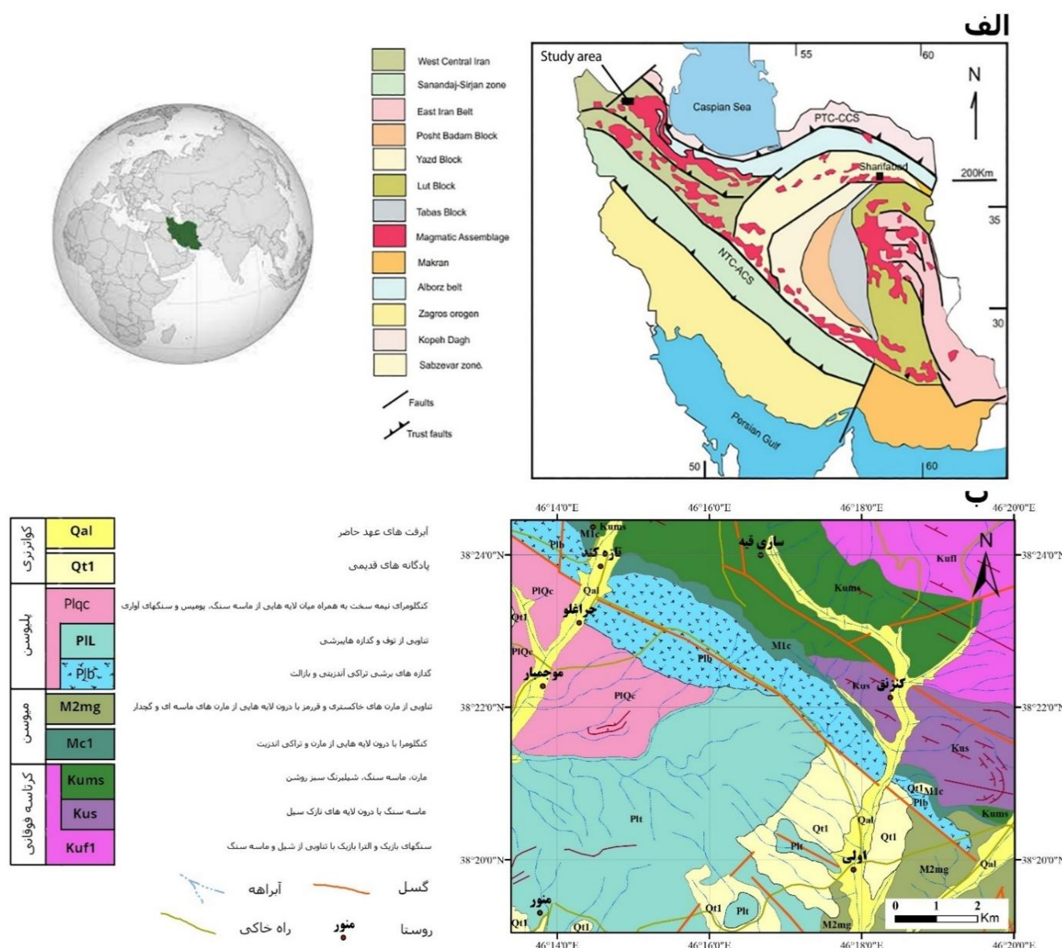
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۱۳۳۳۹۲۶۲۱، نمابر: ۰۴۱۳۳۳۵۶۰۳۷، پست الکترونیکی: moayyed@tabrizu.ac.ir

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

از این رو در این پژوهش، سنگ‌نگاری، شیمی‌کانی، دما و فشار تشکیل کانی‌های این بیگانه سنگ‌ها بررسی شده است.

زمین شناسی عمومی

منطقه مورد بررسی در شمال روستای منور در ۳۵ کیلومتری شمال غرب تبریز و مرکز استان آذربایجان شرقی و بین طول-های جغرافیایی ″۲ ′۱۴ °۴۶ تا ″۵۰ ′۱۸ °۴۶ شرقی و عرض های جغرافیایی ″۴۵ ′۹ °۳۸ تا ″۳۴ ′۲۲ °۳۸ شمالی واقع است. این منطقه از غرب به روستای اسپیران، از شرق به صوفیان و مرند، از جنوب به تبریز و از شمال به کوه‌های قره داغ محدود می‌شود. در شکل ۱ ب، واحدهای آتشفشانی مورد بررسی نشان داده شده‌اند. بر اساس شواهد چینه‌شناسی، دو مرحله مشخص و متفاوت آتشفشانی در نظر گرفته می‌شود؛ در مرحله نخست، آتشفشان دارای فعالیت انفجاری و همراه با آذرآواری‌ها چون خاکسترهای آتشفشانی، بمب‌ها و روانه‌های گدازه بوده و واحدهای سنگی داسیتی و ریوداسیتی را به وجود آورده است. در میان این واحدها، رسوب‌های آبرفتی و آذرآواری نیز دیده می‌شوند که نشان‌دهنده دوره آرامش و توقف فعالیت آتشفشان است. پس از این مراحل و در ادامه فعالیت آتشفشان، گدازه‌های آندزیتی، آندزیت بازالت و تراکی آندزیت‌ها ایجاد شده‌اند. سرانجام نیز گدازه‌های الیوین بازالتی منشوری بر واحدهای پیشین با سن کواترنر قرار گرفته‌اند (شکل ۱ ب). با توجه به شواهد چینه‌شناسی و سن‌سنجی‌های انجام شده بر واحدهای مشابه آتشفشانی شرق ترکیه، آغاز فعالیت آتشفشان در اواخر میوسن و اوایل پلیوسن با سنی حدود ۶ تا ۱۱ میلیون سال تشخیص داده شده است [۳]. در این منطقه، گدازه‌های بازالتی روی واحدهای آذرآواری به سن پلیوسن قرار دارند و به دلیل دمای بالا باعث پخته شدن و تشکیل خاک سنگواره شده که رنگ قرمز این رسوب‌ها از فاصله‌های دور نیز قابل تشخیص است.



شکل ۱ الف) نقشه ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد بررسی در آن [۱]، ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی تبریز.

فوران آتشفشانی چنان که اشاره شد، در چند مرحله همراه با فعالیت‌های انفجاری و آرامش بوده است. فوران‌های آتشفشانی بر اساس شواهد چینه‌شناسی در اواخر میوسن پسین و پلیوسن پیشین با ترکیب اسید تا حد واسط چون داسیت‌ها و آندزیت‌ها بر روی رسوب‌های قرمز بالایی قرار گرفته است. پس از این مرحله، دوره آرامش در منطقه برقرار شده و با پیشروی آب، دریاچه کم عمقی در منطقه به وجود آمده است و رسوب-های آذرآواری تشکیل شده‌اند. این دوره‌های فعالیت و آرامش چند بار تکرار شده‌اند و به سمت بخش‌های بالاتر از شدت انفجار کاسته شده است و پس از یک وقفه طولانی در منطقه، روانه‌های بازیک مانند آندزیت‌ها و آندزیت‌های بازالتی فوران کرده‌اند. در مرحله آخر نیز به علت بازشدن شکستگی‌های عمیق و شروع فعالیت گسل‌ها، روانه‌های بازیک زیراشباع، بازالت‌های منشوری را به وجود آورده‌اند. از مشخصه‌های سنگ-های میزبان آندزیتی و آندزیت بازالتی می‌توان به وجود بیگانه سنگ‌های دیوریت -گابرویی با شکل‌های کروی، بیضوی و زاویه‌دار و مرز مشخص، اشاره نمود. در این منطقه، بررسی‌های سنگ‌شناسی بر سنگ‌های آتشفشانی [۲، ۴] و دایک‌های لامپروفیری با ترکیب اسپسارتیتی [۵-۷] انجام شده و در این پژوهش، کانی‌شناسی و کانی‌شیمی بیگانه سنگ‌های دیوریتی-گابرویی موجود در گدازه‌های زیر بازالت‌های قلیایی کواترنری بررسی شده است.

روش‌ها

پس از برداشت نمونه‌ها از رخنمون‌های سنگی در بررسی‌های صحرایی، مقاطع نازک در کارگاه سنگ‌بری دانشگاه تبریز تهیه شد. بررسی‌های سنگ‌نگاری با میکروسکوپ قطبشی در دانشگاه تبریز برای ۱۵ نمونه از آندزیت‌های دارای بیگانه سنگ‌های دیوریتی و گابرویی انجام شد. شیمی کانی‌های سیلیکاتی برای ۱۲۰ نقطه از کانی‌های مختلف از جمله پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن و بیوتیت از بیگانه سنگ‌ها در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران با دستگاه CAMECA SX100 (20 kV, 20 nA, 2mm spot) بررسی گردید.

سنگ‌نگاری

بر اساس بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری بر نمونه‌های برداشت شده، مجموعه سنگ‌های میزبان بیگانه سنگ شامل آندزیت و آندزیت بازالتی هستند. بررسی‌های سنگ‌شناسی گدازه‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی نشان می‌دهند که این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری، شیشه‌ای ریزسنگی پورفیری و شیشه‌ای پورفیری جریانی هستند. در مجموع، بافت پورفیری با خمیره ریزسنگی و گلومروپورفیری در آن‌ها گسترش بیشتری دارد.

از ویژگی‌های سنگ‌نگاری سنگ‌های مورد بررسی، حضور بیگانه سنگ‌ها در واحدهای سنگی منطقه است. بیگانه سنگ‌ها بیشتر دارای ترکیب گابرویی و دیوریتی هستند و بیشتر در نمونه‌های آندزیتی دیده می‌شوند.

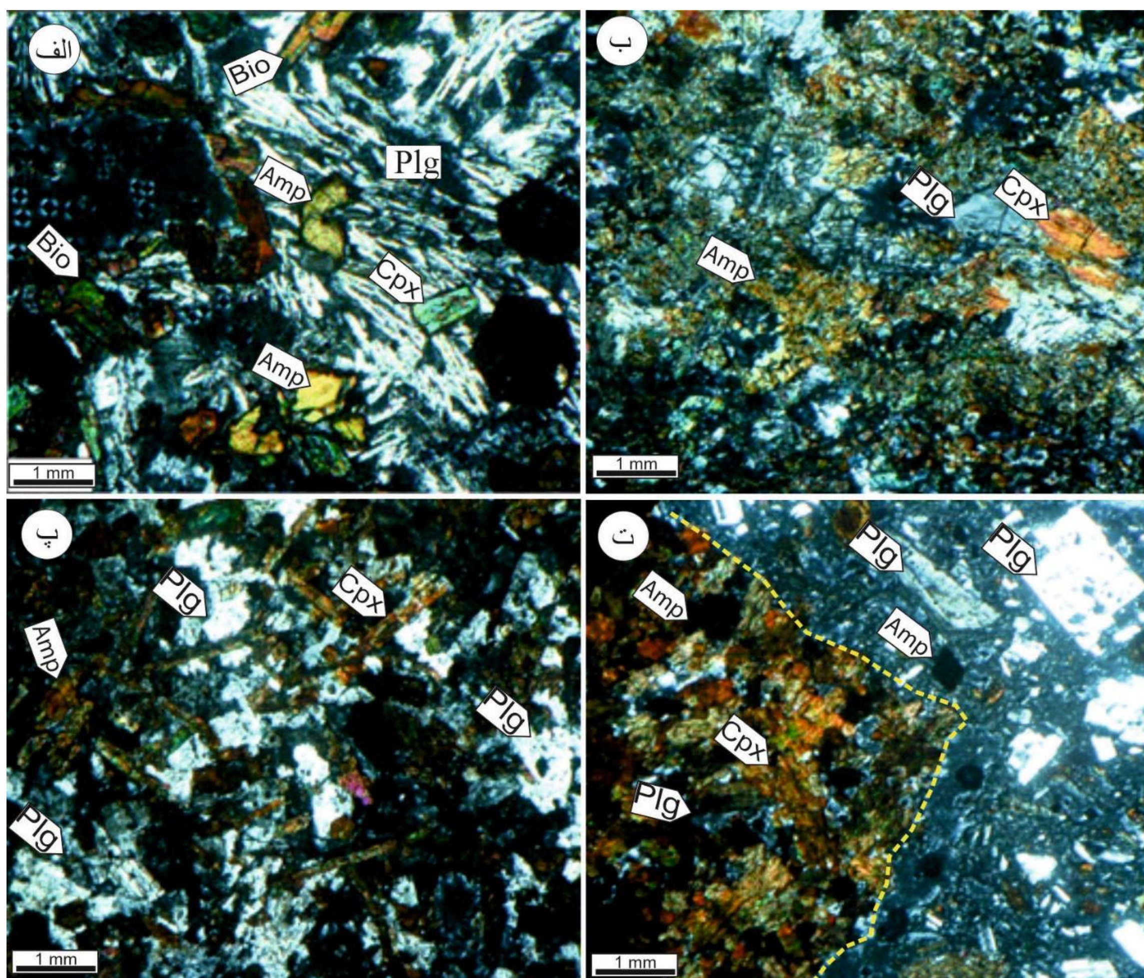
بیگانه سنگ‌های بررسی شده در منطقه منور، در اندازه‌های کوچک ۱ تا ۴ سانتی‌متری، با سطح تماس مشخص، بیضوی شکل و تیره رنگ دیده می‌شوند. دلیل این تیرگی دانه‌ریز بودن و فراوانی آمفیبول در آنهاست. این بیگانه سنگ‌ها به نسبت فراوان و با ترکیب دیوریتی و گابرویی حضور دارند و از نظر ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی، شباهت‌ها و تفاوت‌هایی را با سنگ میزبان نشان می‌دهند (شکل ۲).



شکل۲ تصاویر نمونه‌های از بیگانه سنگ‌های موجود در منطقه منور.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

بیگانه سنگ‌های دیوریتی- گابرویی در نمونه دستی متراکم، ساخت توده‌ای، ریزبلور به رنگ سبز تیره تا سیاه و در ریزدیوریت- گابروها به دلیل ریز بودن تیره‌تر هستند. آنها در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت دانه‌ای ریز تا متوسط دانه بوده به طوری که بیشتر بلورها، دارای قطری حدود چند دهم میلی متر تا ۱ میلی متر هستند. این بیگانه سنگ‌ها شامل طیف ترکیبی دیوریت، گابرو دیوریت و ریزدیوریت بوده و بیشتر در زمره‌ی سنگ‌های اشباع از سیلیس هستند. ترکیب کانی شناسی غالب این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و کلینوپیروکسن است. بر پایه بررسی‌های سنگ‌نگاری، ترتیب تبلور به صورت پلاژیوکلاز- آمفیبول- کلینوپیروکسن تعیین شده است. پلاژیوکلاز در مقاطع نازک به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار وجود دارد، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد همه مقاطع از این کانی تشکیل شده است. این کانی از نظر اندازه به صورت دانه‌های بلوری متوسط تا ریز بوده و با شکل‌های منشوری و ستونی دیده می‌شود و تیغه‌های پلاژیوکلاز با ماکل تکراری (چندریخت) را تشکیل داده و بیشتر نیمه شکل‌دار و سالم است (شکل ۳ الف). نبود منطقه‌بندی شیمیایی نشانگر تعادل هنگام تبلور این کانی و مذاب همراه است. افزون بر این، بلورهای پلاژیوکلاز جهت‌گیری ویژه‌ای ندارند و اغلب به صورت تصادفی در سنگ قرارگرفته‌اند. در مقاطع مورد بررسی، آمفیبول‌ها به صورت نیمه شکل‌دار و بی‌شکل هستند و حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد سنگ را شامل می‌شوند (شکل‌های ۳ الف و ب).



شکل ۳ مقاطع میکروسکوپی بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی. الف) بلورهای کلینوپیروکسن‌های شکل‌دار، آمفیبول، بیوتیت و پلاژیوکلاز. ب) آمفیبول‌های دگرسان شده و کلینوپیروکسن. پ) بلورهای آمفیبول و کلینو پیروکسن که پلاژیوکلازها را قطع نموده‌اند. ت) مرز بین سنگ میزبان (آندزیت بازالت) و بیگانه سنگ گابرویی.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

همچنین پیروکسن‌ها شکل‌دار و نیمه شکل‌دار هستند و حدود ۵ تا ۱۰ درصد مقاطع را تشکیل داده‌اند (شکل‌های ۳). آنها ریز بلور تا متوسط بلور هستند، خاموشی مایل دارند و از نظر ترکیب، کلینوپیروکسن هستند. بلورهای کلینوپیروکسن در برخی بخش‌ها در فضای بین بلورهای پلاژیوکلاز قرار دارند که این امر می‌تواند نشانگر تبلور متقدم پلاژیوکلاز و متاخر پیروکسن باشد (شکل ۳ پ). پیروکسن‌ها پس از آمفیبول دومین کانی اصلی فرومنیزین سنگ به شمار می‌آیند. همچنین مقادیر فرعی بیوتیت (کمتر از ۵ درصد) نیز در این بیگانه سنگ‌ها دیده می‌شود. بافت کلی گابروها نیمه خود ریخت دانه-ای است. دیگر بافت‌های اولیه موجود در این سنگ‌ها شامل پوست‌ماری تا نیمه‌پوست‌ماری بوده که گویای عمق کم جایگیری توده‌های نفوذی خاستگاه و حجم کم ماگمای سازنده گابروها هستند (شکل ۳ پ). بافت پوست ماری (قرارگیری تیغه‌های پلاژیوکلاز در پیروکسن‌ها) در سنگ‌های آذرین، می-تواند نشانگر تقدم تبلور تیغه‌های پلاژیوکلاز نسبت به پیروکسن‌ها باشد. البته این تفسیر گاهی درست است، اما ممکن است بافت پوست ماری طی تبلور همزمان دو کانی و فقط بر اثر اختلاف در سرعت هسته‌بندی و رشد دو کانی ایجاد شود [۸]. به طوری که اگر رشد پیروکسن‌ها سریع‌تر از رشد پلاژیوکلازها و در عوض سرعت هسته‌بندی پلاژیوکلازها بیش از پیروکسن‌ها باشد، بلورهای درشت پیروکسن تیغه‌های پلاژیوکلاز را در بر می‌گیرند [۹].

بحث و بررسی

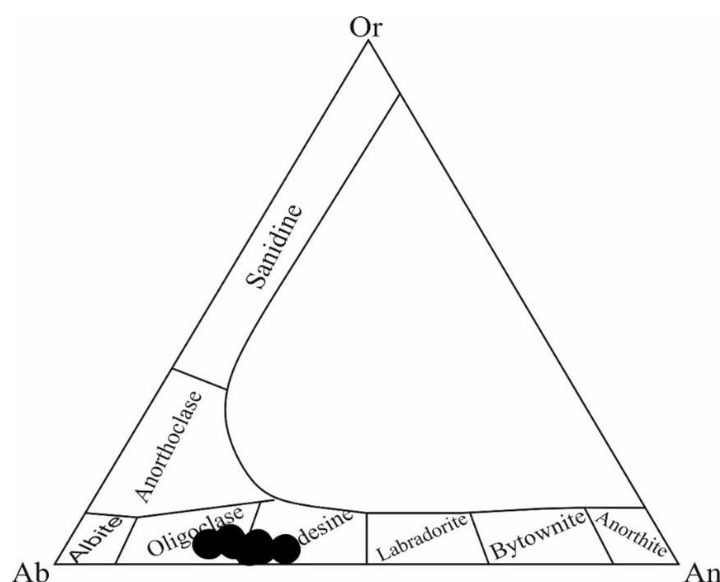
شیمی پلاژیوکلاز

فرمول ساختاری پلاژیوکلاز بر اساس ۵ کاتیون و ۸ اتم اکسیژن محاسبه‌شده است. نتایج تجزیه ریزپردازشی و ترکیب ساختاری آن‌ها در جدول ۱ آمده است. ترکیب پلاژیوکلازها در بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی از الیگوکلاز تا آندزین متغیر است (شکل ۴). تغییرات ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها براساس مقدار Si(apfu) نسبت به عناصری چون Al, Ca, Na, K بررسی شده است که با افزایش Ca، مقدار Al نیز افزایش یافته و همبستگی مثبتی بین Si و مقادیر K, Na به وجود می‌آید. از سوی دیگر با افزایش Si، مقدار Ca و همچنین Al کاهش می-یابد (شکل ۵). جایگاه هشت‌وجهی در پلاژیوکلازها با Si,Al و جایگاه کاتیونی بزرگ با Na,Ca,K و گاهی Ba پر می‌شود.

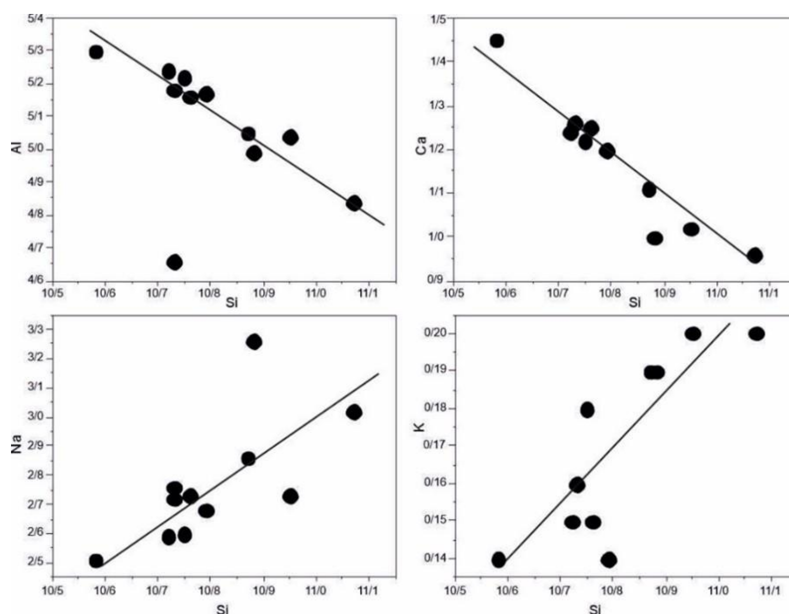
جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی پلاژیوکلاز بیگانه سنگ‌های منور

شماره نمونه	M/14/4	M/14/5	M/14/6	M/4/22	M/4/23	M/28/7	M/28/8	M/36/18	M/36/19	M/36/20	M/36/38	M/36/39
SiO2	۶۰/۵۰	۶۰/۵۹	۵۹/۳۱	۶۰/۶۹	۶۰/۰۸	۵۹/۹۰	۶۱/۵۸	۶۰/۳۰	۶۰/۶۹	۶۱/۹۸	۶۰/۰۸	۶۱/۰۶
TiO2	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
Al2O3	۲۵/۱۰	۲۴/۹۸	۲۵/۲۳	۲۴/۶۶	۲۴/۶۲	۲۳/۳۷	۲۲/۸۶	۲۴/۵۵	۲۴/۶۶	۲۴/۱۹	۲۴/۶۲	۲۴/۰۵
FeO	۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۶۴	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۲۷
CaO	۶/۵۵	۶/۴۱	۷/۵۹	۶/۳۱	۶/۵۸	۵/۱۴	۴/۹۷	۶/۵۳	۶/۳۱	۵/۳۸	۶/۵۸	۵/۸۲
Na2O	۷/۵۵	۷/۵۶	۷/۲۶	۷/۷۷	۷/۸۶	۹/۲۸	۸/۶۶	۷/۹۰	۷/۷۷	۷/۹۷	۷/۸۶	۸/۲۷
K2O	۰/۶۷	۰/۸۰	۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۷۰	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۸۸	۰/۷۰	۰/۸۴
	۱۰۰/۸۸	۱۰۰/۷۳	۱۰۰/۷۴	۱۰۰/۳۷	۱۰۰/۲۱	۹۸/۷۱	۹۹/۱۷	۱۰۰/۲۱	۱۰۰/۳۷	۱۰۰/۷۶	۱۰۰/۲۱	۱۰۰/۳۴
فرمول												
Si	۱۰/۷۲	۱۰/۷۵	۱۰/۵۸	۱۰/۷۹	۱۰/۷۳	۱۰/۸۸	۱۱/۰۷	۱۰/۷۶	۱۰/۷۹	۱۰/۹۵	۱۰/۷۳	۱۰/۸۷
Ti	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۵/۲۴	۵/۲۲	۵/۳۰	۵/۱۷	۴/۶۶	۴/۹۹	۴/۸۴	۵/۱۶	۵/۱۷	۵/۰۴	۵/۱۸	۵/۰۵
Fe(ii)	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴
Ca	۱/۲۴	۱/۲۲	۱/۴۵	۱/۲۰	۱/۲۶	۱/۰۰	۰/۹۶	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۰۲	۱/۲۶	۱/۱۱
Na	۲/۵۹	۲/۶۰	۲/۵۱	۲/۶۸	۲/۷۶	۳/۲۶	۳/۰۲	۲/۷۳	۲/۶۸	۲/۷۳	۲/۷۲	۲/۸۶
K	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۹
مجموع	۲۰/۰۳	۲۰/۰۳	۲۰/۰۹	۲۰/۰۳	۱۹/۶۳	۲۰/۳۵	۲۰/۱۲	۲۰/۱۰	۲۰/۰۳	۱۹/۹۹	۲۰/۱۱	۲۰/۱۲
Or	۳/۸۰	۴/۵۳	۳/۴۴	۳/۵۵	۳/۸۵	۴/۳۱	۴/۸۸	۳/۵۸	۳/۵۵	۵/۰۳	۳/۸۵	۴/۵۹
Ab	۶۵/۰۳	۶۵/۰۱	۶۱/۲۰	۶۶/۵۷	۶۹/۶۰	۷۳/۲۶	۷۲/۲۱	۶۶/۱۹	۶۶/۵۷	۶۹/۱۷	۶۵/۷۴	۶۸/۶۹
An	۳۱/۱۸	۳۰/۴۶	۳۵/۳۶	۲۹/۸۸	۳۰/۴۱	۲۲/۴۲	۲۲/۹۰	۳۰/۲۳	۲۹/۸۸	۲۵/۸۰	۳۰/۴۱	۲۶/۷۱

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]



شکل ۴ رده‌بندی پلاژیوکلاز بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی براساس ترکیب شیمیایی [۱۰].

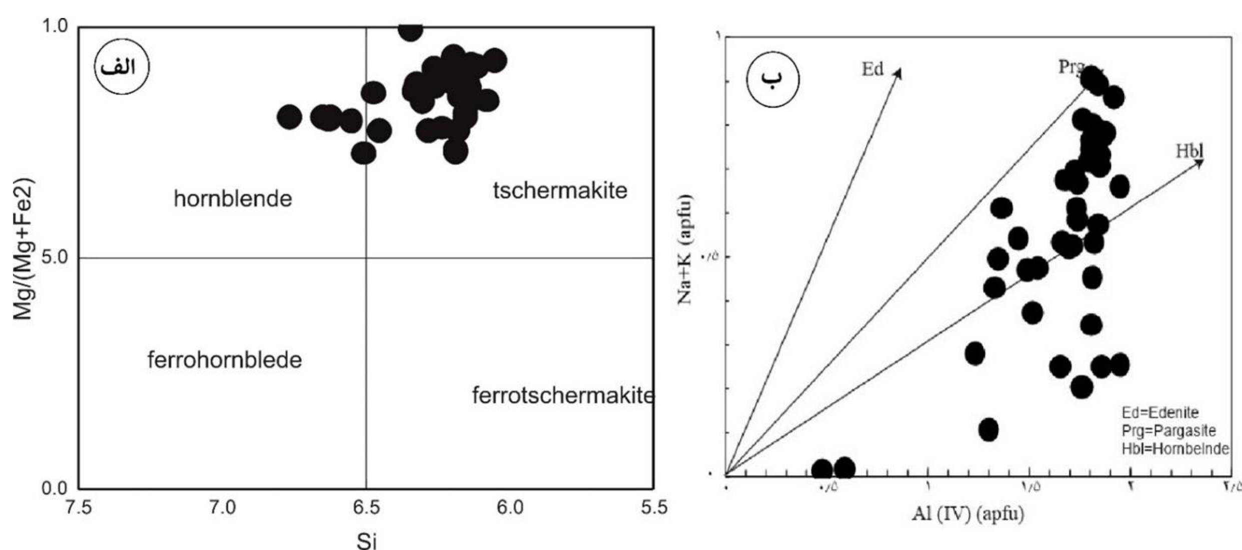


شکل۵ نمودارهای Si نسبت به Na,Ca,Al,K در ترکیب شیمیایی پلاژیوکلاز بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی.

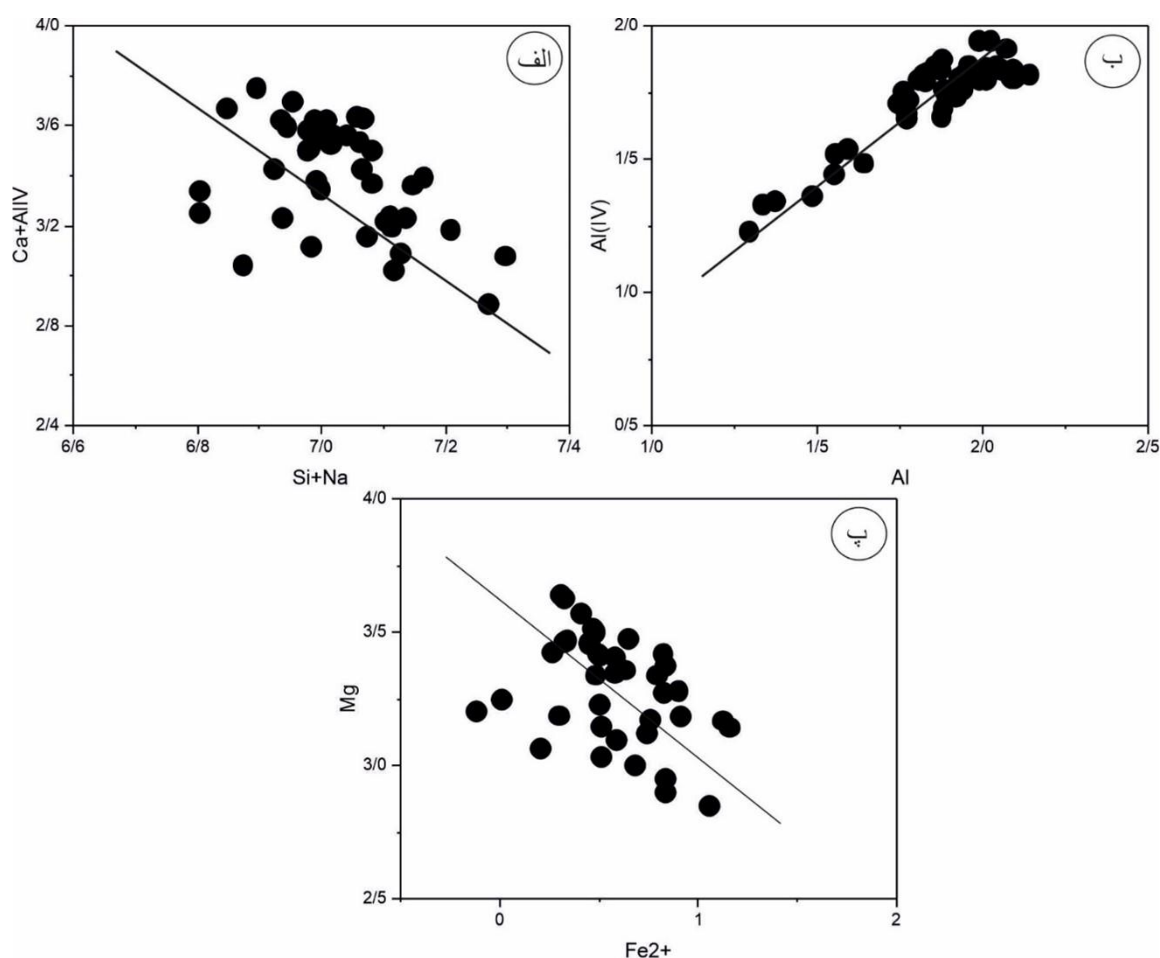
شیمی آمفیبول

نتایج تجزیه آمفیبول در نمونه‌های برگزیده در جدول ۲ آمده است. کاتیون‌های این کانی براساس ۲۳ اتم اکسیژن محاسبه شده است. بر پایه نمودار Si نسبت به $Mg/(Mg + Fe^{2+})$، ترکیب آمفیبول‌ها چرماکیت تا هورنبلند است (شکل ۶ الف). نموداربردارهای جانشینی ادنیتی، پارگازیتی و هورنبلندی براساس مقادیر کاتیونی قلیایی نسبت به آلومینیوم چاروجهی نمونه‌های آمفیبول تجزیه شده بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی راستای جانشینی هورنبلند-پارگازیتی را در آمفیبول‌ها نشان می‌دهد (شکل ۶ ب). با توجه به شکل ۷ الف، آمفیبول‌های مورد بررسی از نظر $Ca+^{IV}Al$ غنی هستند و جانشینی $Ca+Al^{IV}=Si+Na$ در آن‌ها مهم بوده است. رابطه خطی مستقیم بین Al^{IV} و Al^{VI} در آمفیبول‌های مورد بررسی بیانگر تفاوت اصولی مقدار آلومینیوم آمفیبول‌های سنگ‌های مختلف است (شکل ۷ ب) [۱۱]. جانشینی $Mg=Fe^{2+}$ نیز از مهم‌ترین جانشینی‌ها برای آمفیبول‌های موردبررسی است (شکل ۷ پ).

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]



شکل ۶ الف) نمودار Si نسبت کاتیونی (Mg+Fe2+) /Mg [۱۲] و موقعیت آمفیبول بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی در ب) نمودار بردارهای جانشینی ادنیتی-پارگازیتی و هورنبلندی بر اساس مقادیر AlIV نسبت به (Na+K)، بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی [۱۲].



شکل۷ الف) نمودار Si+Na نسبت به $Ca+^{IV}Al$ [۱۳]، ب) نمودار (Alمجموع) نسبت به Al^{IV} که بر اساس آن، آمفیبول‌های تجزیه شده دارای روند خطی هستند [۱۱]، پ) نمودار Fe^{2+} نسبت به Mg.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

جدول ۲ نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی آمفیبول بیگانه سنگ‌های منور

روش No	M.14.	M.14.	M.14.	M.14.	M.14.	M.14.	m.4.1	m.4.20	m.4.2	M.4.3	M.4.3	M.4.3	m.4.2	M.28.	M.28.	M.28.	m.28.	M.28.	M.28.	M.28.	M.28.	M.28.	m.36.	m.36.
SiO2	۴۲٫۴۹	۴۲٫۲۰	۴۲٫۷۴	۴۲٫۲۷	۴۲٫۳۹	۴۲٫۹۰	۳۵٫۲۱	۳۵٫۴۹	۳۵٫۶۹	۴۵٫۴۲	۴۶٫۱۱	۴۶٫۱۱	۴۴٫۷۶	۴۳٫۲۰	۴۲٫۲۶	۴۲٫۸۴	۴۴٫۴۹	۴۳٫۰۵	۴۳٫۵۵	۴۳٫۶۸	۴۲٫۵۹	۴۲٫۸۴	۴۳٫۹۳	۴۳٫۰۴
TiO2	۳٫۰۸	۳٫۲۹	۳٫۱۹	۳٫۴۹	۳٫۴۴	۳٫۰۸	۳٫۲۷	۳٫۳۷	۲٫۳۵	۲٫۶۰	۲٫۳۷	۲٫۴۱	۰٫۰۰	۲٫۸۳	۲٫۹۰	۲٫۹۶	۲٫۸۲	۲٫۸۵	۲٫۹۳	۲٫۷۵	۲٫۲۸	۲٫۲۴	۲٫۶۶	۲٫۷۵
Al2O3	۱۲٫۰۲	۱۲٫۱۹	۱۲٫۵۴	۱۲٫۰۶	۱۲٫۱۶	۱۱٫۲۹	۳٫۵۴	۰٫۰۷	۴٫۱۹	۹٫۱۰	۸٫۷۵	۸٫۰۶	۳۵٫۴۷	۱۰٫۸۳	۱۱٫۲۷	۱۰٫۸۲	۱۰٫۵۱	۱۰٫۵۸	۱۱٫۹۷	۱۱٫۱۷	۱۱٫۸۵	۱۱٫۱۱	۱۰٫۵۳	۱۰٫۷۳
FeO	۸٫۳۰	۸٫۲۲	۹٫۳۳	۹٫۵۷	۹٫۴۴	۹٫۷۰	۲۳٫۲۷	۲۲٫۹۵	۲۲٫۴۲	۱۰٫۸۱	۱۰٫۱۷	۱۱٫۲۰	۰٫۳۴	۹٫۹۸	۱۲٫۲۷	۱۱٫۰۸	۱۱٫۰۸	۱۰٫۶۱	۱۱٫۷۵	۱۱٫۵۱	۱۰٫۶۱	۱۰٫۶۸	۱۰٫۲۵	۹٫۸۳
MnO	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۲۸	۰٫۲۵	۰٫۳۱	۰٫۲۰	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۰۱	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۱۰	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۱۶	۰٫۱۴
MgO	۱۵٫۸۳	۱۶٫۲۰	۱۴٫۷۹	۱۴٫۴۱	۱۴٫۵۷	۱۵٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۱۸	۱۵٫۲۲	۱۵٫۷۶	۱۵٫۵۴	۰٫۰۰	۱۴٫۷۸	۱۳٫۹۳	۱۴٫۱۲	۱۵٫۲۹	۱۷٫۱۵	۱۴٫۴۷	۱۵٫۰۷	۱۶٫۲۹	۱۶٫۸۷	۱۶٫۰۷	۱۶٫۱۴
CaO	۱۱٫۹۷	۱۱٫۸۸	۱۱٫۵۱	۱۱٫۶۹	۱۱٫۶۶	۱۱٫۵۸	۳۲٫۲۶	۳۲٫۲۰	۳۲٫۸۰	۱۱٫۲۷	۱۱٫۲۲	۱۱٫۲۳	۱۹٫۷۲	۹٫۹۸	۹٫۷۷	۹٫۸۰	۸٫۹۷	۸٫۵۲	۹٫۳۹	۸٫۸۶	۹٫۱۶	۹٫۲۳	۱۰٫۹۳	۱۱٫۰۶
Na2O	۲٫۸۲	۲٫۹۱	۲٫۸۹	۳٫۰۴	۳٫۰۹	۲٫۸۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۲٫۳۳	۲٫۷۴	۲٫۲۹	۰٫۳۷	۲٫۸۱	۲٫۸۸	۲٫۸۱	۲٫۷۹	۲٫۹۴	۲٫۶۸	۲٫۶۹	۲٫۷۲	۲٫۶۷	۳٫۲۱	۳٫۱۳
K2O	۱٫۳۱	۱٫۱۷	۱٫۱۲	۱٫۱۰	۱٫۱۳	۱٫۱۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۸۰	۰٫۶۵	۰٫۶۴	۰٫۰۱	۰٫۸۹	۱٫۰۰	۰٫۹۳	۰٫۶۰	۰٫۶۴	۰٫۹۷	۰٫۵۷	۰٫۶۱	۰٫۶۵	۰٫۷۴	۰٫۷۵
Cr2O3	۰٫۱۵	۰٫۰۹	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۳
مجموع	۹۸٫۰۴	۹۸٫۲۵	۹۸٫۲۵	۹۷٫۸۱	۹۷٫۹۹	۹۷٫۸۸	۹۸٫۰۶	۹۴٫۶۱	۹۷٫۹۸	۹۷٫۸۶	۹۷٫۹۷	۹۷٫۶۴	٫۶۸	۹۵٫۵۰	۹۶٫۴۴	۹۵٫۵۷	۹۶٫۶۷	۹۶٫۴۹	۹۷٫۸۵	۹۶٫۳۵	۹۶٫۱۷	۹۶٫۳۵	۹۸٫۵۰	۹۷٫۶۰
Si	۶٫۱۶	۶٫۰۸	۶٫۱۸	۶٫۱۹	۶٫۱۹	۶٫۲۴	۷٫۴۱	۷٫۹۸	۷٫۵۲	۶٫۵۵	۶٫۶۳	۶٫۶۵	۶٫۷۰	۶٫۳۴	۶٫۱۸	۶٫۳۱	۶٫۳۵	۶٫۰۷	۶٫۲۰	۶٫۲۴	۶٫۰۵	۶٫۰۷	۶٫۲۷	۶٫۲۰
Ti	۰٫۳۴	۰٫۳۶	۰٫۳۵	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۳۴	۰٫۵۲	۰٫۵۷	۰٫۳۷	۰٫۲۸	۰٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۰۰	۰٫۳۱	۰٫۳۲	۰٫۳۳	۰٫۳۰	۰٫۳۰	۰٫۳۱	۰٫۳۰	۰٫۲۴	۰٫۲۴	۰٫۲۹	۰٫۳۰
Al	۲٫۰۵	۲٫۰۷	۲٫۱۴	۲٫۰۸	۲٫۰۹	۱٫۹۴	۰٫۸۸	۰٫۰۲	۱٫۰۴	۱٫۵۵	۱٫۴۸	۱٫۳۷	۶٫۲۶	۱٫۸۷	۱٫۹۴	۱٫۸۸	۱٫۷۷	۱٫۷۶	۲٫۰۱	۱٫۸۸	۱٫۹۹	۱٫۸۶	۱٫۷۷	۱٫۸۲
Fe	۱٫۰۱	۰٫۹۹	۱٫۱۳	۱٫۱۷	۱٫۱۵	۱٫۱۸	۴٫۰۹	۴٫۳۱	۳٫۹۵	۱٫۳۰	۱٫۲۲	۱٫۳۵	۰٫۰۴	۱٫۲۲	۱٫۵۰	۱٫۳۶	۱٫۳۲	۱٫۲۵	۱٫۴۰	۱٫۳۷	۱٫۲۶	۱٫۲۷	۱٫۲۲	۱٫۱۹
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲
Mg	۳٫۴۲	۳٫۴۸	۳٫۱۹	۳٫۱۵	۳٫۱۷	۳٫۲۸	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۳٫۲۷	۳٫۳۸	۳٫۳۴	۰٫۰۰	۳٫۲۳	۳٫۰۴	۳٫۱۰	۳٫۲۵	۳٫۶۰	۳٫۰۷	۳٫۲۱	۳٫۴۵	۳٫۵۶	۳٫۴۲	۳٫۴۷
Ca	۱٫۸۶	۱٫۸۳	۱٫۷۸	۱٫۸۳	۱٫۸۲	۱٫۸۰	۷٫۲۷	۷٫۷۵	۷٫۴۱	۱٫۷۴	۱٫۷۳	۱٫۷۴	۳٫۱۶	۱٫۵۷	۱٫۵۳	۱٫۵۵	۱٫۳۷	۱٫۲۹	۱٫۴۳	۱٫۳۶	۱٫۳۹	۱٫۴۰	۱٫۶۷	۱٫۷۱
Na	۰٫۷۹	۰٫۸۱	۰٫۸۱	۰٫۸۶	۰٫۸۷	۰٫۸۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۶۵	۰٫۷۶	۰٫۶۴	۰٫۱۱	۰٫۸۰	۰٫۸۲	۰٫۸۰	۰٫۷۷	۰٫۸۰	۰٫۷۴	۰٫۷۴	۰٫۷۵	۰٫۷۳	۰٫۸۹	۰٫۸۷
K	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۵	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۰۰	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۱۸	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۴
Cr	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
مجموع	۱۵٫۸۹	۱۵٫۸۶	۱۵٫۸۰	۱۵٫۹۰	۱۵٫۹۱	۱۵٫۸۱	۲۰٫۲۹	۲۰٫۷۷	۲۰٫۴۲	۱۵٫۵۴	۱۵٫۶۱	۱۵٫۴۹	۱۶٫۲۷	۵٫۵۳1	۱۵٫۵۳	۱۵٫۵۲	۱۵٫۲۵	۱۵٫۲۱	۱۵٫۳۵	۱۵٫۲۰	۱۵٫۲۵	۱۵٫۲۵	۱۵٫۷۰	۱۵٫۷۲
Fe3+	۰٫۱۹	۰٫۳۵	۰٫۲۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۲۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۴۸	۰٫۳۹	۰٫۵۶	۰٫۰۰	۰٫۷۲	۰٫۹۹	۰٫۷۸	۱٫۳۱	۲٫۰۱	۱٫۲۰	۱٫۴۹	۱٫۷۷	۱٫۸۷	۰٫۷۴	۰٫۷۴
Fe2+	۰٫۸۲	۰٫۶۴	۰٫۹۱	۱٫۱۵	۱٫۱۲	۰٫۸۹	۴٫۰۹	۴٫۳۱	۳٫۹۵	۰٫۸۲	۰٫۸۳	۰٫۷۹	۰٫۰۴	۰٫۵۰	۰٫۵۱	۰٫۵۸	۰٫۰۱	۰٫۷۶-	۰٫۲۰	۰٫۱۲-	۰٫۵۱-	۰٫۶۱-	۰٫۴۹	۰٫۴۵
Al(IV)	۱٫۸۴	۱٫۹۲	۱٫۸۲	۱٫۸۱	۱٫۸۱	۱٫۷۶	۰٫۵۹	۰٫۰۲	۰٫۴۸	۱٫۴۵	۱٫۳۷	۱٫۳۵	۱٫۳۰	۱٫۶۶	۱٫۸۲	۱٫۶۹	۱٫۶۵	۱٫۷۶	۱٫۸۰	۱٫۷۶	۱٫۹۵	۱٫۸۶	۱٫۷۳	۱٫۸۰
Al(VI)	۰٫۲۱	۰٫۱۵	۰٫۳۲	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۱۷	۰٫۲۸	۰٫۰۰	۰٫۵۶	۰٫۱۰	۰٫۱۲	۰٫۰۳	۴٫۹۶	۰٫۲۱	۰٫۱۲	۰٫۱۸	۰٫۱۱	۰٫۰۰	۰٫۲۰	۰٫۱۲	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۳
(Na+K)A	۰٫۸۹	۰٫۸۶	۰٫۸۰	۰٫۹۰	۰٫۹۱	۰٫۸۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۵۴	۰٫۶۱	۰٫۴۹	۰٫۱۱	۰٫۵۳	۰٫۵۳	۰٫۵۲	۰٫۲۵	۰٫۲۱	۰٫۳۵	۰٫۲۰	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۰٫۷۰	۰٫۷۲
M/(M+Fe2+)	۰٫۸۱	۰٫۸۴	۰٫۷۸	۰٫۷۳	۰٫۷۴	۰٫۷۹	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۸۰	۰٫۸۰	۰٫۸۱	۰٫۰۰	۰٫۸۷	۰٫۸۶	۰٫۸۴	۱٫۰۰	۱٫۲۷	۰٫۹۴	۱٫۰۴	۱٫۱۷	۱٫۲۱	۰٫۸۸	۰٫۸۹
100Na/(Na+	۲۹٫۸۹	۳۰٫۷۱	۳۱٫۲۴	۳۲٫۰۰	۳۲٫۴۱	۳۰٫۷۴	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۲۷٫۲۳	۳۰٫۶۵	۲۶٫۹۵	۳٫۲۸	۳۳٫۷۵	۳۴٫۷۹	۳۴٫۱۶	۳۶٫۰۱	۳۸٫۴۴	۳۴٫۰۶	۳۵٫۴۶	۳۴٫۹۵	۳۴٫۳۶	۳۴٫۷۰	۳۳٫۸۷
100Al/(Al+Si	۲۵٫۰۱	۲۵٫۴۰	۲۵٫۷۰	۲۵٫۱۷	۲۵٫۲۷	۲۳٫۶۸	۱۰٫۶۰	۰٫۲۳	۱۲٫۱۶	۱۹٫۱۰	۱۸٫۲۸	۱۷٫۰۸	۴۸٫۳۰	۲۲٫۸۱	۲۳٫۹۲	۲۲٫۹۴	۲۱٫۷۸	۲۲٫۴۶	۲۴٫۴۷	۲۳٫۱۶	۲۴٫۷۰	۲۳٫۴۱	۲۲٫۰۳	۲۲٫۷۱
Al(VI)Fe3+T	۰٫۷۵	۰٫۸۷	۰٫۸۹	۰٫۶۸	۰٫۷۰	۰٫۸۱	۰٫۸۰	۰٫۵۷	۰٫۹۴	۰٫۸۸	۰٫۷۷	۰٫۸۵	۴٫۹۶	۱٫۲۵	۱٫۴۴	۱٫۳۰	۱٫۷۳	۲٫۱۴	۱٫۷۱	۱٫۹۱	۲٫۰۵	۲٫۰۴	۱٫۰۷	۱٫۰۷
T(°C)	٫۹۹	٫۳۵	٫۹۹	۹۷۶٫۷۶	٫۲۲	۹۳۰٫۰۶	٫۹۰	٫۱۱	٫۰۲	٫۵۰	٫۲۴	٫۲۹	٫۰۰	٫۸۷	٫۵۶	٫۱۱	٫۳۷	۸۹۶٫۰۵	٫۱۹	۸۸۹٫۳۶	٫۷۷	٫۸۹	٫۹۷	٫۱۵

ادامه جدول ۲

روش No	m.36.26	m.36.29	m.36.30	m.36.31	m.36.32	m.36.33	m.36.34	m.36.35	m.36.36	m.36.37	m.36.40	m.36.41	m.25.1	m.25.2	m.25.3	m.25.4	m.25.5	m.25.10	m.25.11	m.25.12	m.25.13	m.25.14	m.25.15
SiO2	۴۲٫۲۳	۴۲٫۶۱	۴۲٫۶۱	۴۲٫۷۲	۴۲٫۵۹	۴۲٫۲۵	۴۴٫۰۸	۴۴٫۸۹	۴۴٫۴۷	۴۵٫۱۶	۴۳٫۰۷	۴۴٫۱۵	۴۴٫۶۸	۴۷٫۱۰	۴۳٫۴۵	۴۲٫۶۲	۴۲٫۷۷	۴۲٫۶۷	۴۳٫۳۲	۴۴٫۴۴	۴۳٫۰۰	۴۵٫۲۴	۴۵٫۵۰
TiO2	۳٫۰۰	۲٫۹۱	۲٫۹۰	۲٫۸۰	۲٫۳۵	۲٫۴۶	۳٫۰۱	۲٫۸۲	۲٫۷۲	۲٫۷۶	۲٫۸۸	۲٫۸۵	۲٫۲۲	۱٫۷۳	۱٫۹۹	۲٫۹۳	۳٫۰۸	۲٫۷۸	۲٫۶۵	۱٫۹۷	۲٫۱۱	۱٫۸۱	۱٫۵۱
Al2O3	۱۰٫۸۷	۱۰٫۶۱	۱۱٫۰۹	۱۰٫۷۴	۱۰٫۷۶	۱۱٫۹۶	۱۲٫۳۹	۱۱٫۵۰	۱۲٫۰۹	۱۱٫۷۲	۱۱٫۵۰	۱۰٫۴۶	۹٫۵۳	۷٫۶۲	۱۱٫۱۹	۱۱٫۵۰	۱۱٫۸۵	۱۲٫۲۹	۱۱٫۴۳	۹٫۲۹	۱۰٫۱۱	۹٫۱۹	۷٫۷۶
FeO	۱۰٫۴۴	۱۰٫۷۶	۸٫۷۵	۹٫۰۱	۱۰٫۶۶	۱۰٫۱۱	۸٫۸۲	۹٫۱۲	۷٫۴۴	۸٫۹۹	۸٫۶۴	۸٫۹۸	۱۴٫۰۵	۱۳٫۲۸	۱۰٫۴۵	۹٫۹۴	۸٫۸۰	۱۱٫۸۳	۱۱٫۶۶	۱۴٫۲۱	۱۴٫۶۱	۱۳٫۱۱	۱۳٫۵۳
MnO	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۰۶	۰٫۱۲	۰٫۰۶	۰٫۱۳	۰٫۰۸	۰٫۱۲	۰٫۲۶	۰٫۲۷	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۰۹	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۳۲	۰٫۲۸	۰٫۲۷	۰٫۳۸
MgO	۱۵٫۴۰	۱۵٫۸۹	۱۶٫۹۶	۱۷٫۰۱	۱۶٫۱۶	۱۶٫۰۶	۱۶٫۶۵	۱۶٫۶۴	۱۷٫۲۱	۱۶٫۷۷	۱۶٫۴۴	۱۶٫۴۲	۱۳٫۱۳	۱۴٫۵۹	۱۵٫۵۶	۱۵٫۶۴	۱۵٫۸۹	۱۳٫۹۶	۱۴٫۹۸	۱۳٫۶۳	۱۳٫۳۱	۱۴٫۷۵	۱۴٫۶۴
CaO	۱۱٫۰۸	۱۱٫۱۹	۱۱٫۳۸	۱۱٫۳۴	۱۱٫۰۳	۱۱٫۲۵	۱۱٫۶۹	۱۱٫۳۳	۱۱٫۶۴	۱۱٫۰۲	۱۱٫۴۹	۱۱٫۰۲	۱۰٫۹۵	۱۰٫۷۶	۱۱٫۴۹	۱۱٫۴۶	۱۱٫۵۲	۱۰٫۷۷	۱۰٫۲۸	۱۰٫۷۸	۱۰٫۹۷	۱۰٫۷۰	۱۱٫۲۸
Na2O	۲٫۹۴	۳٫۱۳	۳٫۱۳	۳٫۱۶	۳٫۱۲	۲٫۸۵	۲٫۹۴	۲٫۹۷	۳٫۱۹	۳٫۰۳	۲٫۸۶	۲٫۹۵	۲٫۱۲	۱٫۸۰	۲٫۵۷	۳٫۰۸	۲٫۸۰	۲٫۹۲	۲٫۸۹	۲٫۲۹	۲٫۲۴	۲٫۱۴	۱٫۷۸
K2O	۰٫۸۴	۰٫۷۷	۰٫۸۹	۰٫۸۱	۰٫۸۰	۰٫۷۸	۰٫۹۳	۰٫۹۷	۰٫۹۴	۰٫۹۰	۰٫۹۲	۰٫۹۰	۰٫۸۷	۰٫۶۸	۰٫۵۱	۰٫۷۷	۰٫۹۶	۰٫۵۰	۰٫۴۴	۰٫۸۲	۰٫۹۲	۰٫۷۵	۰٫۹۱
Cr2O3	۰٫۰۱	۰٫۱۴	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۱۵	۰٫۷۴	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۲۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۲۱	۰٫۰۷
مجموع	۹۶٫۹۴	۹۸٫۱۳	۹۷٫۸۴	۹۷٫۷۴	۹۷٫۶۲	۹۷٫۸۹	٫۵۹	٫۵۱	٫۵۰	٫۵۲	۹۷٫۸۸	۹۷٫۸۹	۹۷٫۹۰	۹۷٫۸۵	۹۷٫۳۷	۹۸٫۱۴	۹۸٫۰۳	۹۷٫۸۷	۹۷٫۷۹	۹۷٫۹۲	۹۷٫۶۹	۹۸٫۱۷	۹۷٫۳۶
Si	۶٫۱۶	۶٫۱۴	۶٫۱۲	۶٫۱۴	۶٫۱۴	۶٫۰۵	۶٫۱۵	۶٫۲۶	۶٫۲۰	۶٫۲۷	۶٫۱۸	۶٫۳۳	۶٫۵۱	۶٫۷۷	۶٫۲۶	۶٫۱۴	۶٫۱۵	۶٫۱۶	۶٫۱۹	۶٫۴۶	۶٫۲۹	۶٫۴۸	۶٫۶۲
Ti	۰٫۳۳	۰٫۳۲	۰٫۳۱	۰٫۳۰	۰٫۲۵	۰٫۲۷	۰٫۳۲	۰٫۳۰	۰٫۲۹	۰٫۲۹	۰٫۳۱	۰٫۳۱	۰٫۲۴	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۳۲	۰٫۳۳	۰٫۳۰	۰٫۲۸	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۰٫۱۷
Al	۱٫۸۷	۱٫۸۰	۱٫۸۸	۱٫۸۲	۱٫۸۳	۲٫۰۲	۲٫۰۴	۱٫۸۹	۱٫۹۹	۱٫۹۲	۱٫۹۵	۱٫۷۷	۱٫۶۴	۱٫۲۹	۱٫۹۰	۱٫۹۵	۲٫۰۱	۲٫۰۹	۱٫۹۳	۱٫۵۹	۱٫۷۴	۱٫۵۵	۱٫۳۳
Fe	۱٫۲۷	۱٫۳۰	۱٫۰۵	۱٫۰۸	۱٫۲۹	۱٫۲۱	۱٫۰۳	۱٫۰۶	۰٫۸۷	۱٫۰۴	۱٫۰۴	۱٫۰۸	۱٫۷۱	۱٫۶۰	۱٫۲۶	۱٫۲۰	۱٫۰۶	۱٫۴۳	۱٫۳۹	۱٫۷۳	۱٫۷۹	۱٫۵۷	۱٫۶۵
Mn	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۵
Mg	۳٫۳۵	۳٫۴۱	۳٫۶۳	۳٫۶۴	۳٫۴۷	۳٫۴۳	۳٫۴۶	۳٫۴۶	۳٫۵۸	۳٫۴۷	۳٫۵۲	۳٫۵۱	۲٫۸۵	۳٫۱۲	۳٫۳۴	۳٫۳۶	۳٫۴۱	۳٫۰۰	۳٫۱۹	۲٫۹۵	۲٫۹۰	۳٫۱۵	۳٫۱۸
Ca	۱٫۷۳	۱٫۷۳	۱٫۷۵	۱٫۷۵	۱٫۷۰	۱٫۷۳	۱٫۷۵	۱٫۶۹	۱٫۷۴	۱٫۶۴	۱٫۷۷	۱٫۶۹	۱٫۷۱	۱٫۶۶	۱٫۷۷	۱٫۷۷	۱٫۷۸	۱٫۶۷	۱٫۵۷	۱٫۶۸	۱٫۷۲	۱٫۶۴	۱٫۷۶
Na	۰٫۸۳	۰٫۸۷	۰٫۸۷	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۰٫۷۹	۰٫۷۹	۰٫۸۰	۰٫۸۶	۰٫۸۱	۰٫۸۰	۰٫۸۲	۰٫۶۰	۰٫۵۰	۰٫۷۲	۰٫۸۶	۰٫۷۸	۰٫۸۲	۰٫۸۰	۰٫۶۵	۰٫۶۳	۰٫۵۹	۰٫۵۰
K	۰٫۱۶	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۰٫۱۸	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۱۵	۰٫۱۷	۰٫۱۴	۰٫۱۷
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱
مجموع	۱۵٫۷۲	۱۵٫۷۴	۱۵٫۷۸	۱۵٫۷۷	۱۵٫۷۲	۱۵٫۶۶	۱۵٫۷۱	۱۵٫۶۷	۱۵٫۷۷	۱۵٫۶۱	۱۵٫۷۳	۱۵٫۶۸	۱۵٫۴۷	۱۵٫۲۸	۱۵٫۵۹	۱۵٫۷۷	۱۵٫۷۳	۱۵٫۵۷	۱۵٫۴۵	۱۵٫۴۷	۱۵٫۵۳	۱۵٫۳۷	۱۵٫۴۳
Fe3+	۰٫۷۰	۰٫۸۰	۰٫۷۳	۰٫۷۸	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۰٫۵۸	۰٫۶۲	۰٫۴۶	۰٫۷۲	۰٫۵۷	۰٫۶۰	۰٫۶۶	۰٫۸۶	۰٫۷۸	۰٫۵۷	۰٫۴۸	۰٫۷۵	۱٫۱۰	۰٫۸۹	۰٫۹۶	۱٫۰۶	۰٫۸۹
Fe2+	۰٫۵۸	۰٫۵۰	۰٫۳۲	۰٫۳۱	۰٫۳۳	۰٫۲۶	۰٫۴۵	۰٫۴۴	۰٫۴۱	۰٫۳۲	۰٫۴۶	۰٫۴۸	۱٫۰۵	۰٫۷۴	۰٫۴۸	۰٫۶۳	۰٫۵۷	۰٫۶۸	۰٫۳۰	۰٫۸۳	۰٫۸۳	۰٫۵۱	۰٫۷۶
Al(IV)	۱٫۸۴	۱٫۸۰	۱٫۸۸	۱٫۸۲	۱٫۸۳	۱٫۹۵	۱٫۸۵	۱٫۷۴	۱٫۸۰	۱٫۷۳	۱٫۸۲	۱٫۶۷	۱٫۴۹	۱٫۲۳	۱٫۷۴	۱٫۸۶	۱٫۸۵	۱٫۸۴	۱٫۸۱	۱٫۵۴	۱٫۷۱	۱٫۵۲	۱٫۳۳
Al(VI)	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۰٫۱۹	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱۳	۰٫۰۹	۰٫۱۵	۰٫۰۶	۰٫۱۶	۰٫۱۰	۰٫۱۶	۰٫۲۵	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۰
(Na+K)A	۰٫۷۲	۰٫۷۴	۰٫۷۸	۰٫۷۷	۰٫۷۲	۰٫۶۶	۰٫۷۱	۰٫۶۷	۰٫۷۷	۰٫۶۱	۰٫۷۳	۰٫۶۸	۰٫۴۷	۰٫۲۸	۰٫۵۹	۰٫۷۷	۰٫۷۳	۰٫۵۷	۰٫۴۵	۰٫۴۷	۰٫۵۳	۰٫۳۷	۰٫۴۳
M/(M+Fe2+)	۰٫۸۵	۰٫۸۷	۰٫۹۲	۰٫۹۲	۰٫۹۱	۰٫۹۳	۰٫۸۹	۰٫۸۹	۰٫۹۰	۰٫۹۲	۰٫۸۸	۰٫۸۸	۰٫۷۳	۰٫۸۱	۰٫۸۷	۰٫۸۴	۰٫۸۶	۰٫۸۲	۰٫۹۲	۰٫۷۸	۰٫۷۸	۰٫۸۶	۰٫۸۱
100Na/(Na+C	۳۲٫۴۴	۳۳٫۶۱	۳۳٫۲۳	۳۳٫۵۲	۳۳٫۸۶	۳۱٫۴۳	۳۱٫۲۸	۳۲٫۱۷	۳۳٫۱۵	۳۳٫۲۲	۳۱٫۰۵	۳۲٫۶۳	۲۵٫۹۴	۲۳٫۲۴	۲۸٫۸۱	۳۲٫۷۲	۳۰٫۵۵	۳۲٫۹۱	۳۳٫۷۲	۲۷٫۷۷	۲۶٫۹۸	۲۶٫۵۷	۲۲٫۲۱
100Al/(Al+Si	۲۳٫۲۸	۲۲٫۶۹	۲۳٫۴۸	۲۲٫۸۶	۲۲٫۹۵	۲۵٫۰۲	۲۴٫۸۹	۲۳٫۱۹	۲۴٫۲۷	۲۳٫۴۲	۲۳٫۹۴	۲۱٫۸۳	۲۰٫۰۹	۱۶٫۰۲	۲۳٫۲۹	۲۴٫۱۳	۲۴٫۶۲	۲۵٫۳۵	۲۳٫۷۲	۱۹٫۷۷	۲۱٫۷۰	۱۹٫۳۲	۱۶٫۷۴
Al(VI)Fe3+Ti	۱٫۰۶	۱٫۰۷	۱٫۰۴	۱٫۰۴	۱٫۱۸	۱٫۲۹	۱٫۰۸	۱٫۰۸	۱٫۰۱	۱٫۲۰	۱٫۰۱	۱٫۰۰	۱٫۰۶	۱٫۱۱	۱٫۱۶	۰٫۹۹	۱٫۰۱	۱٫۳۰	۱٫۵۰	۱٫۱۷	۱٫۲۴	۱٫۳۱	۱٫۰۲
T(°C)	٫۵۵	٫۰۷	۹۰۶٫۷۵	۸۹۶٫۴۱	۸۴۹٫۶۸	٫۷۴	٫۳۷	٫۸۲	۸۷۹٫۳۶	٫۱۷	٫۵۷	٫۸۹	٫۴۴	٫۱۷	٫۳۵	٫۲۹	٫۴۴	۸۹۵٫۶۷	٫۰۳	٫۹۲	٫۳۵	٫۰۱	۷۶۲٫۰۰

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

کلینوپیروکسن

داده‌های تجزیه ریزکاوالکترونی بلورهای پیروکسن در جدول ۳ آورده شده‌اند. در مجموع برای ۲۹ نقطه از پیروکسن‌ها تجزیه نقطه‌ای انجام شده است. پیروکسن‌ها بیشتر از نوع کلینوپیروکسن هستند و در بیگانه سنگ‌ها به‌صورت درشت بلور و در زمینه به‌صورت ریز بلور حضور دارند. داده‌ها برآمده از تجزیه به‌صورت اکسید هستند که مقادیر هر عنصر (pfu) بر اساس ۴ کاتیون و ۶ اتم اکسیژن [$M_1M_2T(2)$] به روش دروپ [۱۴] محاسبه شده‌اند. هر یک از مقادیر Fe^{2+} , Fe^{3+} با برنامه‌های کامپیوتری بر اساس روش مرجع [۱۵] محاسبه گردیده‌اند. ترکیب سازنده‌های پایانی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی $En_{35.1-51}$,Fs_{01-15},Wo_{39-53} است. کلینوپیروکسن‌های غنی از منیزیم (بیش از ۸۰ درصد) اولیه هستند و $Mg^{\#}$ کمتر از ۷۵ درصد نشانگر تشکیل آنها از ماگمای جدایش یافته است. این در حالی است که عدد منیزیم کمتر از ۷۰ درصد در کلینوپیروکسن‌ها بیانگر تشکیل این کانی‌ها از یک ماگمای جدایش یافته است. مقدار $Mg^{\#}$ بیش از ۷۰ درصد در بیشتر کلینوپیروکسن‌ها نشان دهنده تبلور آنها از یک ماگمای اولیه در دمای بالا و عمق زیاد حجره ماگمایی است [۱۶]. بررسی‌های تجربی نشان داده‌اند که در فشار پایین، کلینوپیروکسن های متبلور از یک ماگمای بازالتی اغلب $Mg^{\#}$ کمتر از ۸۴ دارند [۱۷]. عدد منیزیم در کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی حدود ۷۳ تا ۹۷ درصد است.

در نمودار Q-J که برای رده‌بندی پیروکسن‌ها پیشنهاد شده است [۱۸]، پیروکسن‌های بررسی شده در گستره وابسته به پیروکسن‌های آهن منیزم – کلسیم‌دار (Quad) جای می‌گیرند (شکل ۸ الف). ترکیب کلینوپیروکسن در بیگانه سنگ‌های منطقه مورد بررسی براساس نمودار En-Fs-Wo [۱۸] در گستره اوژیت و دیوپسید واقع است (شکل ۸ ب).

گریزندگی اکسیژن اثر ویژه‌ای بر تغییر دمای ذوب و ترکیب مذاب دارد [۱۹] و عامل موثری در کنترل فرآیندهای ماگمایی، توالی تبلور و نوع کانی‌های تبلور یافته در ماگما دارد [۲۰-۲۳]. برای تعیین گریزندگی اکسیژن از نمودار $Al^{VI}+2Ti+Cr$ نسبت به $Na+Al^{IV}$ [۲۴] استفاده شد (شکل ۹). در ترکیب پیروکسن‌ها، عنصر Fe می‌تواند جانشین عناصر سه ظرفیتی چون Ti, Cr, Al در جایگاه‌های هشت‌وجهی شود. بنابراین فراوانی Fe در پیروکسن‌ها بستگی به موازنه Al در جایگاه چاروجهی و هشت‌وجهی ساختار پیروکسن دارد. براساس این نمودار، پیروکسن‌ها در گریزندگی اکسیژن بالایی متبلور شده‌اند.

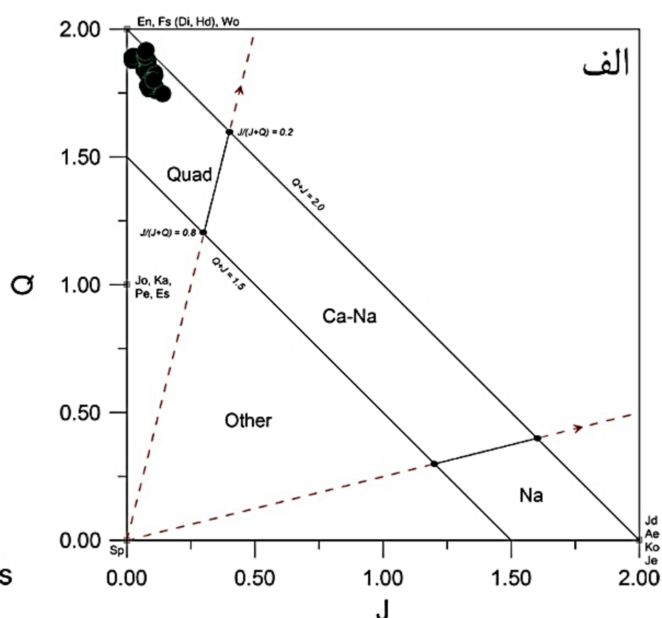
جدول ۳ نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی پیروکسن بیگانه سنگ‌های منور

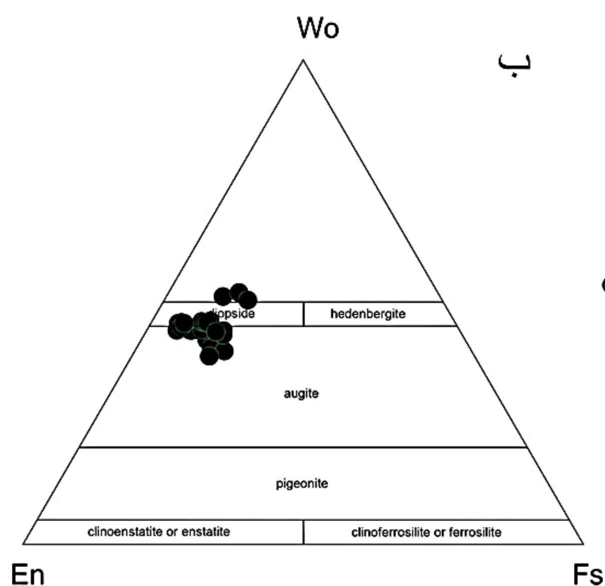
شماره نمونه	M.14.1	M.14.2	M.14.3	M.14.7	M.14.8	M.14.9	M.4.16	M.4.17	M.4.18	M.4.24	M.4.25	M.4.26	M.4.33	M.4.34	M.4.35
SiO2	۵۳٫۰۰	۵۳٫۲۹	۵۲٫۰۰	۵۳٫۰۰	۵۳٫۰۰	۵۱٫۰۰	۵۲٫۲۰	۵۱٫۶۰	۵۱٫۵۰	۵۲٫۸۹	۵۳٫۰۳	۵۳٫۴۰	۵۳٫۰۹	۵۲٫۷۹	۵۲٫۱۳
TiO2	۰٫۴۰	۰٫۴۳	۰٫۴۰	۰٫۴۰	۰٫۴۰	۰٫۹۰	۰٫۲۳	۰٫۱۸	۰٫۳۳	۰٫۴۵	۰٫۲۰	۰٫۴۲	۰٫۵۷	۰٫۲۳	۰٫۲۹
Al2O3	۲٫۵۰	۲٫۲۹	۳٫۰۰	۲٫۲۰	۲٫۵۰	۴٫۱۰	۲٫۱۰	۲٫۰۴	۳٫۱۵	۱٫۵۳	۱٫۳۹	۱٫۵۱	۲٫۱۱	۲٫۵۴	۲٫۹۸
FeO	۴٫۸۳	۵٫۱۴	۵٫۲۰	۴٫۴۰	۴٫۴۰	۵٫۴۴	۷٫۳۲	۹٫۰۱	۹٫۰۵	۷٫۳۹	۸٫۳۵	۷٫۷۸	۵٫۵۹	۵٫۰۹	۵٫۴۰
MnO	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۱۶	۰٫۱۹	۰٫۱۸	۰٫۲۴	۰٫۲۹	۰٫۲۹	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۱۰
MgO	۱۶٫۷۵	۱۶٫۸۰	۱۶٫۵۸	۱۷٫۲۸	۱۶٫۸۹	۱۵٫۸۸	۱۳٫۵۹	۱۲٫۳۰	۱۲٫۰۷	۱۵٫۶۳	۱۴٫۹۷	۱۶٫۰۲	۱۶٫۷۵	۱۷٫۲۷	۱۶٫۶۷
CaO	۲۱٫۴۷	۲۱٫۹۱	۲۱٫۶۴	۲۲٫۱۸	۲۱٫۴۰	۲۰٫۹۸	۲۴٫۹۷	۲۵٫۱۱	۲۴٫۴۱	۲۱٫۵۳	۲۱٫۷۹	۲۰٫۳۹	۲۱٫۳۹	۲۱٫۰۵	۲۱٫۰۹
Na2O	۰٫۵۸	۰٫۵۲	۰٫۶۵	۰٫۴۷	۰٫۵۸	۰٫۵۴	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۶۱	۰٫۷۶	۰٫۵۸	۰٫۵۷	۰٫۷۱	۰٫۷۳
K2O	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Cr2O3	۰٫۴۰	۰٫۲۰	۰٫۷۰	۰٫۲۰	۰٫۵۰	۰٫۱۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۴۷	۰٫۵۶	۰٫۵۶
مجموع	۱۰۰٫۰۳	۱۰۰٫۷۵	۱۰۰٫۲۹	۱۰۰٫۲۳	۹۹٫۷۷	۹۹٫۰۵	۱۰۰٫۷۱	۱۰۰٫۵۸	۱۰۰٫۸۷	۱۰۰٫۳۳	۱۰۰٫۸۲	۱۰۰٫۳۹	۱۰۰٫۶۹	۱۰۰٫۳۷	۹۹٫۹۶
Si	۱٫۹۳	۱٫۹۳	۱٫۸۹	۱٫۹۲	۱٫۹۳	۱٫۸۸	۱٫۹۳	۱٫۹۲	۱٫۹۱	۱٫۹۴	۱٫۹۴	۱٫۹۶	۱٫۹۳	۱٫۹۱	۱٫۹۰
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Al	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۱۳	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱۸	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۱۳
Fe	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۲۳	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۳	۰٫۲۶	۰٫۲۴	۰٫۱۷	۰٫۱۵	۰٫۱۶
Mn	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Mg	۰٫۹۱	۰٫۹۱	۰٫۹۰	۰٫۹۳	۰٫۹۲	۰٫۸۷	۰٫۷۵	۰٫۶۸	۰٫۶۷	۰٫۸۵	۰٫۸۲	۰٫۸۸	۰٫۹۱	۰٫۹۳	۰٫۹۱
Ca	۰٫۸۴	۰٫۸۵	۰٫۸۴	۰٫۸۶	۰٫۸۴	۰٫۸۳	۰٫۹۹	۱٫۰۰	۰٫۹۷	۰٫۸۵	۰٫۸۶	۰٫۸۰	۰٫۸۳	۰٫۸۲	۰٫۸۲
Na	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۵
K	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Cr	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲
مجموع	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰
FeII/(FeII+Mg)	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۱۰	۰٫۱۸	۰٫۲۳	۰٫۲۷	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۸	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۰۵
AlIV+Fe3+	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۲۳	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۹	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۰۹	۰٫۱۵	۰٫۲۰	۰٫۲۲
Al(VI)+2Ti+Cr	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۶
Na+Al(Iv)	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۶	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۰۸	۰٫۱۱	۰٫۱۴	۰٫۱۵
Mg/(Mg+Fe2+)	۰٫۹۱	۰٫۹۱	۰٫۹۶	۰٫۹۵	۰٫۹۲	۰٫۹۰	۰٫۸۲	۰٫۷۷	۰٫۷۳	۰٫۸۶	۰٫۸۴	۰٫۸۲	۰٫۹۱	۰٫۹۶	۰٫۹۵

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

ادامه جدول ۳

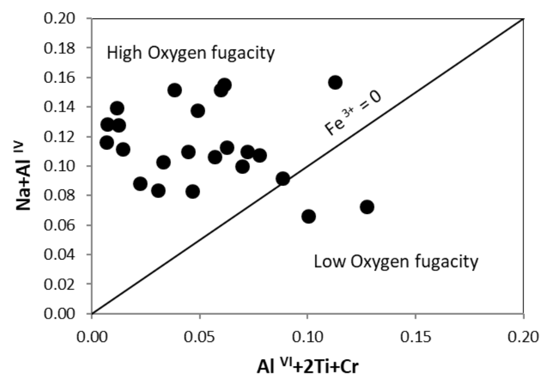
شماره نمونه	M.28.4	M.28.5	M.28.6	M.36.15	M.36.16	M.36.17	M.36.21	M.36.22	M.36.23	M.36.27	M.36.28	M.25.6	M.25.16	M.25.17
SiO2	۵۳٫۱۲	۵۳٫۲۶	۵۳٫۷۳	۵۲٫۴۰	۵۲٫۳۰	۵۲٫۸۰	۵۲٫۶۰	۵۱٫۳۷	۵۰٫۲۰	۵۲٫۰۰	۵۲٫۷۰	۵۲٫۴۰	۵۲٫۶۰	۵۲٫۶۰
TiO2	۰٫۲۷	۰٫۴۲	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۲۳	۰٫۲۹	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۱٫۳۱	۰٫۵۶	۰٫۲۱	۰٫۲۷	۰٫۱۶	۰٫۱۳
Al2O3	۲٫۹۹	۳٫۱۴	۲٫۶۶	۱٫۰۳	۱٫۶۴	۱٫۳۹	۱٫۲۹	۱٫۱۹	۲٫۸۲	۲٫۶۹	۱٫۱۷	۰٫۷۱	۱٫۴۲	۱٫۳۲
FeO	۸٫۱۴	۷٫۲۱	۶٫۸۵	۸٫۶۴	۸٫۴۰	۸٫۱۵	۸٫۲۵	۹٫۲۳	۶٫۰۱	۵٫۹۷	۸٫۶۸	۷٫۶۱	۹٫۱۵	۸٫۷۵
MnO	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۵	۰٫۳۰	۰٫۳۲	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۳۵	۰٫۰۷	۰٫۱۵	۰٫۳۰	۰٫۳۹	۰٫۵۲	۰٫۴۷
MgO	۱۵٫۹۱	۱۵٫۴۷	۱۶٫۶۴	۱۵٫۲۲	۱۵٫۰۳	۱۵٫۸۳	۱۵٫۴۴	۱۴٫۷۹	۱۵٫۸۲	۱۶٫۶۴	۱۴٫۹۱	۱۵٫۷۳	۱۳٫۵۹	۱۳٫۸۷
CaO	۱۹٫۴۴	۱۹٫۴۶	۱۹٫۰۱	۲۱٫۴۹	۲۱٫۳۷	۲۱٫۲۹	۲۱٫۹۰	۲۱٫۷۸	۲۲٫۶۵	۲۱٫۸۳	۲۱٫۴۹	۲۲٫۰۰	۲۱٫۹۷	۲۲٫۲۱
Na2O	۰٫۵۰	۰٫۵۳	۰٫۵۰	۰٫۷۷	۰٫۷۸	۰٫۶۶	۰٫۷۸	۰٫۶۰	۰٫۶۸	۰٫۵۷	۰٫۹۷	۰٫۷۳	۱٫۱۱	۰٫۹۸
K2O	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Cr2O3	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۵۸	۰٫۱۴	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۳
مجموع	۱۰۰٫۵۷	۹۹٫۶۹	۹۹٫۸۸	۱۰۰٫۱۶	۱۰۰٫۰۹	۱۰۰٫۷۱	۱۰۰٫۷۹	۹۹٫۶۱	۱۰۰٫۱۵	۱۰۰٫۵۷	۱۰۰٫۴۶	۹۹٫۸۹	۱۰۰٫۵۵	۱۰۰٫۳۶
Si	۱٫۹۴	۱٫۹۷	۱٫۹۷	۱٫۹۳	۱٫۹۳	۱٫۹۳	۱٫۹۲	۱٫۹۱	۱٫۸۴	۱٫۸۹	۱٫۹۴	۱٫۹۳	۱٫۹۴	۱٫۹۴
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۶	۰٫۰۶
Fe	۰٫۲۵	۰٫۲۲	۰٫۲۱	۰٫۲۷	۰٫۲۶	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۰٫۲۹	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۲۷	۰٫۲۳	۰٫۲۸	۰٫۲۷
Mn	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱
Mg	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۹۱	۰٫۸۴	۰٫۸۳	۰٫۸۶	۰٫۸۴	۰٫۸۲	۰٫۸۶	۰٫۹۰	۰٫۸۲	۰٫۸۶	۰٫۷۵	۰٫۷۶
Ca	۰٫۷۶	۰٫۷۷	۰٫۷۵	۰٫۸۵	۰٫۸۴	۰٫۸۳	۰٫۸۶	۰٫۸۷	۰٫۸۹	۰٫۸۵	۰٫۸۵	۰٫۸۷	۰٫۸۷	۰٫۸۸
Na	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۷
K	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
مجموع	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰	۴٫۰۰
FeII/(FeII+Mg)	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۰۴-	۰٫۰۵	۰٫۱۳	۰٫۰۹	۰٫۱۷	۰٫۱۶
AlIV+Fe3+	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۲۱	۰٫۲۰	۰٫۱۹	۰٫۲۳	۰٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۲۴	۰٫۲۱	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۱۸
Al(VI)+2Ti+Cr	۰٫۰۹	۰٫۱۳	۰٫۱۰	۰٫۰۱-	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱-	۰٫۰۲-	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۲-	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Na+Al(Iv)	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۳	۰٫۲۱	۰٫۱۵	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۴	۰٫۱۳
Mg/(Mg+Fe2+)	۰٫۷۹	۰٫۷۹	۰٫۸۱	۰٫۸۷	۰٫۸۵	۰٫۸۷	۰٫۸۹	۰٫۸۷	۱٫۰۴	۰٫۹۵	۰٫۸۷	۰٫۹۱	۰٫۸۳	۰٫۸۴





شکل۸ ترکیب کلینوپیروکسن‌های منطقه مورد بررسی در الف) نمودار Q-J که در آن ($Q=Ca+Mg+Fe^{2+}$, $J=2Na$) [۲۱]، ب) نمودار En-Fs-Wo [۲۱].

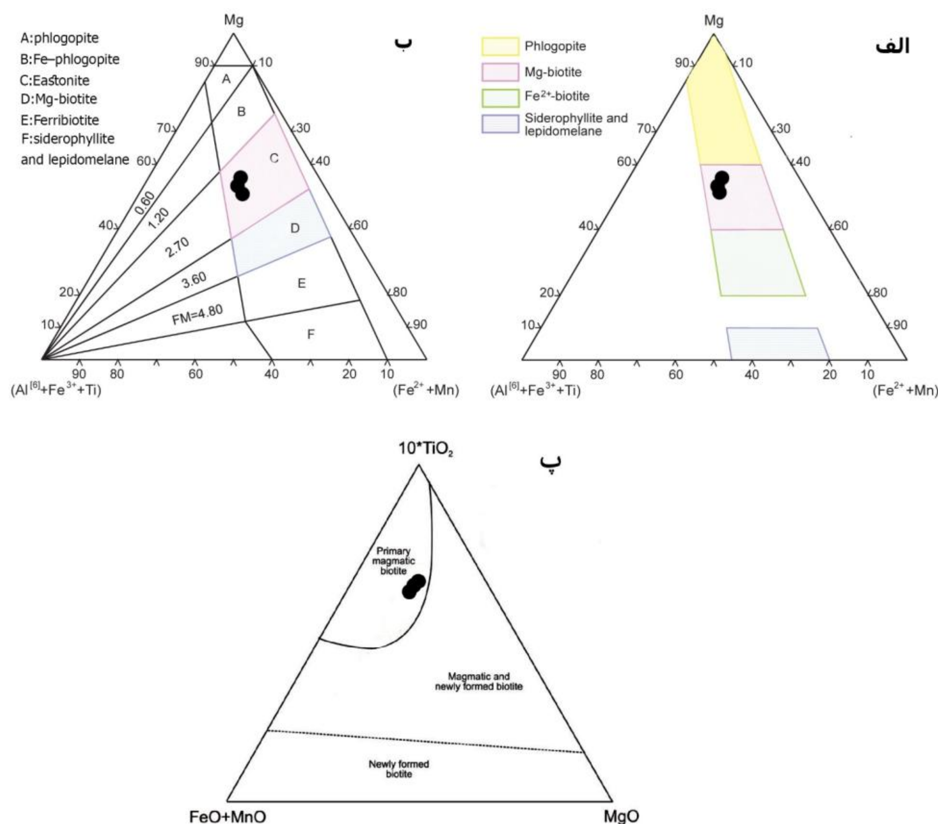
[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]



شکل۹ نمودار تغییرات $Al^{VI}+2Ti+Cr$ نسبت به $Na+Al^{IV}$ برای تعیین گریزندگی اکسیژن در نمونه‌های موردبررسی [۲۴].

بیوتیت

برای میکاها فرمول کلی $W(X,Y)_{2-3}Z4O_{10}(OH,F)_2$ ارائه شده که W اغلب پتاسیم، X و Y نشانگر $Mg, Fe^{+2}, Fe^{+3},$ Li، Al و Z نشان‌دهنده Al Si, است. ترکیب شیمیایی میکاهای موجود در سنگ‌های مورد بررسی براساس نمودار مثلثی $(Fe^{2+}+Mn)-(Al^{[6]}+Fe^{3+}+Ti)-Mg$ (شکل ۱۰ الف) [۲۵] در گستره بیوتیت‌های منیزیم‌دار و برپایه رده‌بندی ارائه‌شده توسط جیانگ و همکاران (شکل ۱۰ ب) در گستره استونیت قرار دارد (شکل ۱۰ ب) [۲۶]. از ترکیب درشت بلور-های بیوتیت می‌توان برای تعیین ماهیت ماگمایی استفاده کرد. به منظور شناسایی بیوتیت‌های اولیه از ثانویه از نمودار سه تایی $FeO+MnO,10*TiO_2,MgO$ [۲۷] استفاده شد. بر این اساس، بیوتیت‌های بیگانه سنگ‌های مورد بررسی به نسبت غنی از FeO و TiO_2 هستند و در گستره بیوتیت‌های اولیه یا ماگمایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰ پ جدول ۴).



شکل۱۰ موقعیت میکای موردبررسی در نمودارهای مثلثی الف و ب رده‌بندی $(Fe^{2+}+Mn)-(Al^{[6]}+Fe^{3+}+Ti)-Mg$ [۲۵، ۲۶]، و پ) جدا کننده بیوتیت‌های اولیه و ثانویه [۲۷].

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

جدول ۴ نتایج تجزیه ریزپردازشی کانی بیوتیت بیگانه سنگ‌های منور

شماره نمونه	M.25.7	M.25.8	M.25.9
SiO_2	۳۷٫۴۷	۳۷٫۸۲	۳۷٫۷۲
TiO2	۵٫۰۶	۵٫۱۴	۵٫۰۷
Al2O3	۱۴٫۱۰	۱۴٫۳۵	۱۴٫۰۷
Cr2O3	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
FeO	۱۵٫۴۸	۱۵٫۳۰	۱۴٫۹۴
MnO	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۱۱
MgO	۱۳٫۳۳	۱۳٫۶۱	۱۳٫۷۸
CaO	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۳
Na2O	۰٫۸۲	۰٫۷۷	۰٫۷۹
K2O	۹٫۷۰	۹٫۷۶	۹٫۶۱
مجموع	۹۶٫۰۴	۹۶٫۸۳	۹۶٫۱۲
فرمول	11(O)	11(O)	11(O)
Si	۲٫۷۶	۲٫۷۶	۲٫۷۷
Ti	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۸
Al	۱٫۲۲	۱٫۲۳	۱٫۲۲
Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe3+	۰٫۲۹	۰٫۲۸	۰٫۲۸
Fe2+	۰٫۶۷	۰٫۶۵	۰٫۶۴
Mn	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Mg	۱٫۴۶	۱٫۴۸	۱٫۵۱
Ca	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Na	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۰٫۱۱
K	۰٫۹۱	۰٫۹۱	۰٫۹۰
مجموع	۷٫۷۲	۷٫۷۱	۷٫۷۱
Mg/(Mg+Fe2)	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۷۰
Fe2/(Fetot)	۰٫۷۰	۰٫۷۰	۰٫۷۰
Al/(Al+Fe3+Cr)	۰٫۸۱	۰٫۸۲	۰٫۸۲
Na/(Na+K)	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۱
Fe/(Fe+Mg)	۰٫۳۱	۰٫۳۱	۰٫۳۰
fe(t)	۰٫۹۵	۰٫۹۳	۰٫۹۲
alvi+fe3+ti	۱٫۷۹	۱٫۸۰	۱٫۷۷
fe2++mg+ti+(si-6)	۴٫۱۷	۴٫۱۷	۴٫۲۰
Al+Fe3+	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۲۷

تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه براساس شیمی کانی‌ها پیروکسن

ترکیب شیمیایی و ساختار مذابی که کلینوپیروکسن از آن متبلور می‌شود در ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن نقش دارد ولی عوامل دیگری مانند ضریب جدایش عناصر سازنده کلینوپیروکسن، تغییرات فیزیکی چون دما، فشار، گریزندگی اکسیژن، ترتیب تبلور و سرعت سردشدن ماگما در این فرآیند مؤثر هستند [۲۸]. کلینوپیروکسن‌ها کانی‌های سنگ‌زایی مقاوم نسبت به دگرسانی هستند و بر پایه ترکیب آنها می‌توان نوع سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی ماگمای سازنده آنها را مشخص نمود [۲۹]. در ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن، فراوانی عناصری چون Ti, Al, Na و Cr و به ویژه Si نشانگر ماهیت و محیط زمین‌ساختی تشکیل آنهاست [۲۹]. لوباس [۳۰] باور دارد که مقادیر Si، Al و Ti درون شبکه ساختاری پیروکسن به درجه قلیایی بودن بستگی دارد و براساس این مشخصه، سری‌های ماگمایی از هم قابل تفکیک هستند. وی با استفاده از نمودار SiO_2 نسبت به Al_2O_3 در ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها، سری‌های ماگمایی فوق‌قلیایی، قلیایی و نیمه قلیایی را از هم تفکیک نموده است. بر اساس این نمودار، ترکیب کلینوپیروکسن‌ها نشان دهنده نیمه قلیایی بودن سنگ‌های آتشفشانی میزبان بیگانه سنگ‌های دیوریتی- گابرویی منطقه مورد بررسی است (شکل ۱۱ الف). لوباس [۱۶] همچنین نمودار دیگری بر اساس مقادیر Al_2O_3 نسبت به TiO_2 برای تفکیک سری‌های ماگمایی قلیایی، کالک قلیایی و تولئیتی از هم ارائه نموده است. بر پایه این نمودار، کلینوپیروکسن‌های نمونه‌های مورد بررسی به علت کمبود TiO_2 در گستره سنگ‌های کالک قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱ ب).

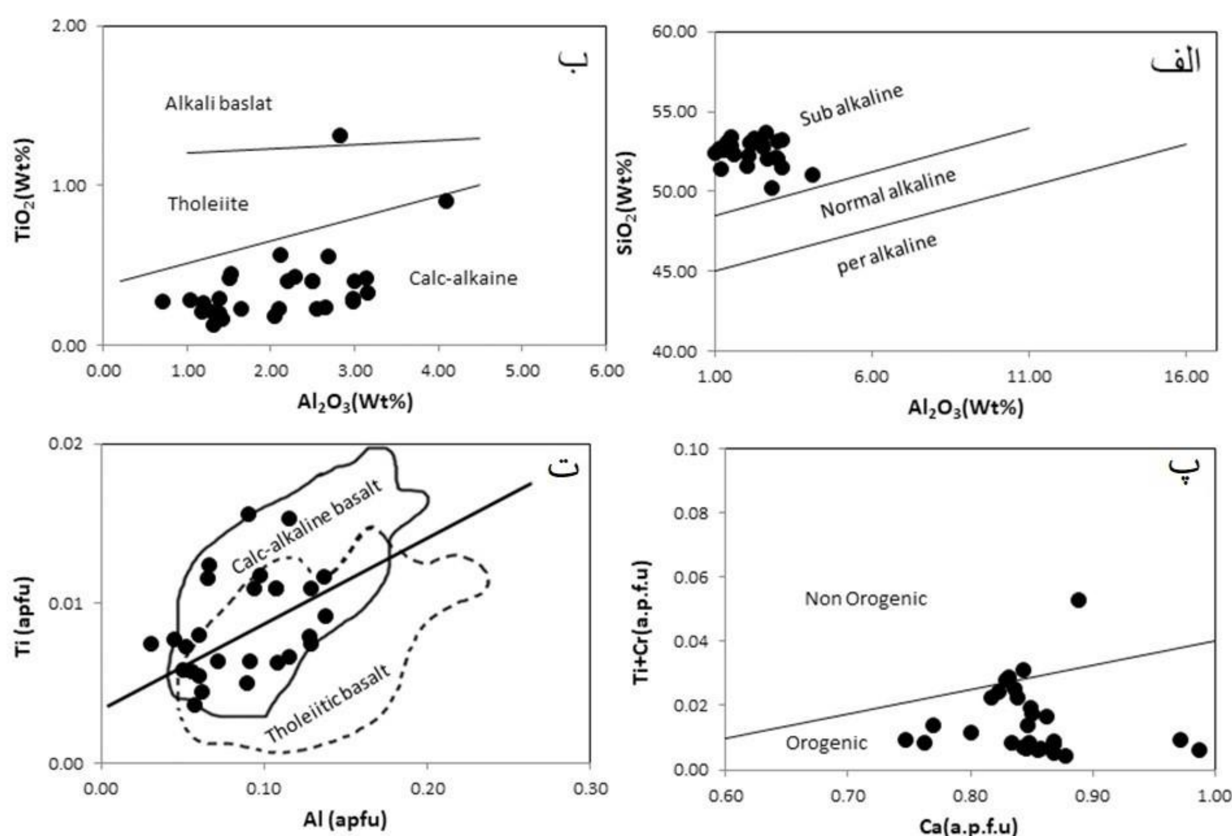
[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

همچنین با نمودار Ti+Cr نسبت به Ca [۳۱]، می‌تـوان بازالت‌هـای کـوهزایی را از بازالت‌های غیرکوهـزایی جدا کرد که بر این اساس، کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های منطقه مورد بررسـی در گستره بازالت‌های کوهزایی قرار دارند (شکل ۱۱ پ). همچنین با نمودار Ti نسبت به Al می‌توان بازالت‌های کوهزایی تولئیتی و آهکی قلیایی را از هم تفکیک کرد [۳۱]. بر پایه ایـن نمـودار، بیشتر کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های منطقـه مـورد بررسی، در گستره بازالت‌های کالک قلیایی قرار می‌گیرند (شکل۱۱ ت).

از نمودارهایی که برای تشخیص محیط‌های زمین‌ساختی ماگما بر پایه ترکیب کلینوپیروکسن‌ها استفاده می‌شود می‌توان به نمودار F1-F2 [۲۸] اشاره نمود که کلینوپیروکسن‌های بازالت‌های قلیایی درون صفحه‌ای را از انواع دیگر جدا می‌کند.

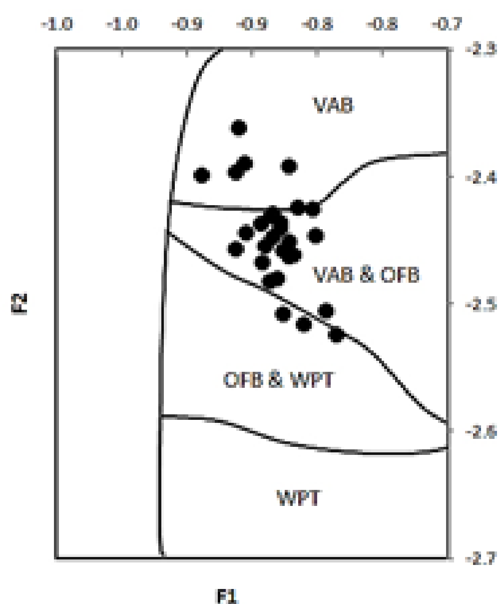
جدایش ماگمای تولئیتی درون صفحه‌ای (WPT) از ماگمـای بازالتی قوس آتشفشانی (VAB) نیـز بـه خوبی صـورت می‌گیرد، ولی همپوشی قابل ملاحظه‌ای بین بازالت-های کف اقیانوسی (OFB) با WPT و VAB دیده می‌شود. جایابی نمونـه‌هـا در ایـن نمـودار نشان می‌دهد که آن‌ها در قلمـرو بازالـت قوس‌های آتشفشانی که همپوشی کمی با بازالـت کـف اقیـانوس دارند، واقع شده‌اند (شکل ۱۲).

همچنین برای تعیین محیط زمین‌ساختی از نمودارهای Al نسبت به Ti (شکل ۱۳ الف) و Al نسبت به Si (شکل ۱۳ ب) و نمودار Al^{IV} نسبت به Ti (شکل ۱۳ پ) [۳۲]، استفاده شد که بر این اساس، بیشتر نمونه‌ها در گستره تولئیت جزایر قوسی (IAT) قرار دارند.

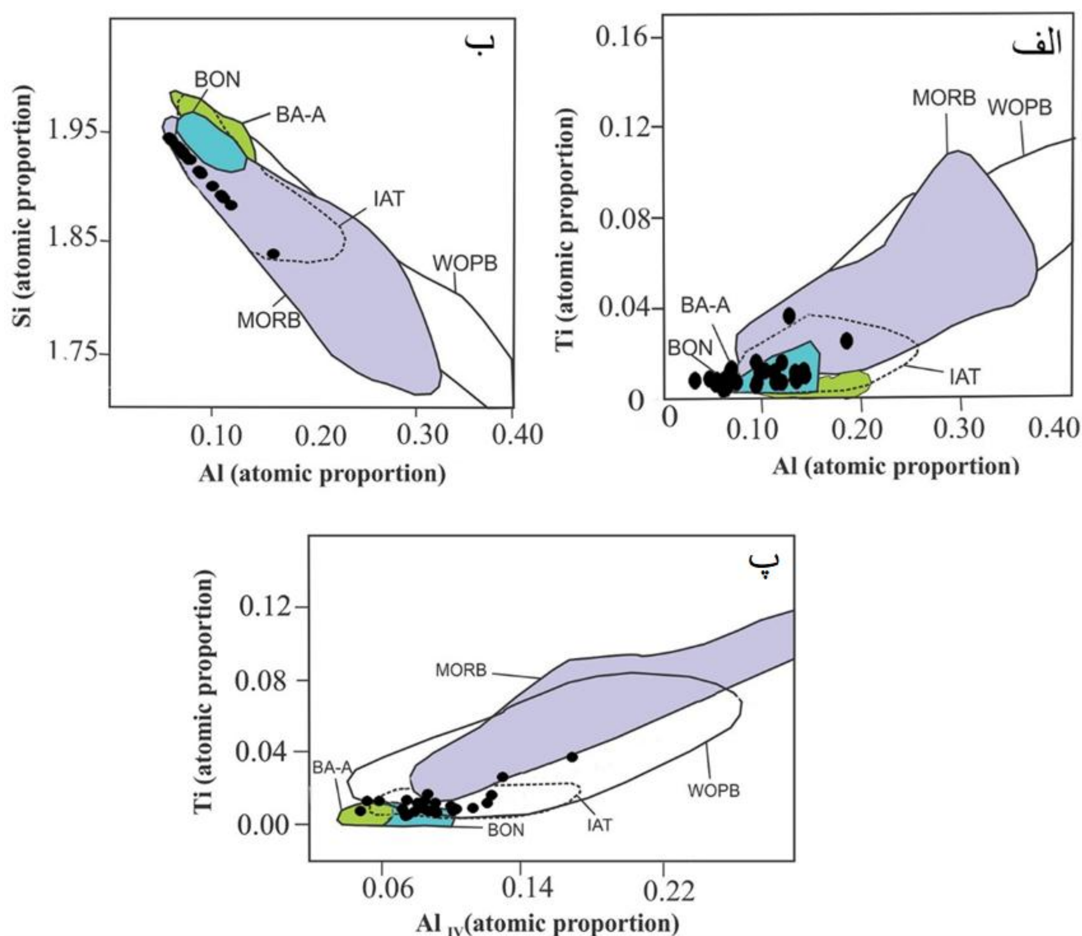


شکل۱۱ الف) نمودار تغییرات Al_2O_3 نسبت به SiO_2 از [۱۶]، ب) نمودار تغییرات Al_2O_3 نسبت به TiO2 [۱۶] ، پ) نمودارTi+Cr نسبت بهCa [۳۱]، ت) نمودار Ti نسبت بهAl [۳۱].

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]



شکل۱۲ نمـودار F2-F1، با استفاده از ترکیب کلینوپیروکسن [۲۸] برای تعیین محیط زمین ساختی سنگ‌های منطقه که بر این اساس، نمونه‌های مورد بررسی بین دو گستره بازالت قوس‌های آتشفشانی و بازالت کف اقیانوس واقع هستند.



شکل۱۳ نمودارهای الف) Al نسبت به Ti ،ب) Al نسبت به Si و پ) Al^{IV} نسبت به Ti [۳۲] که بر این اساس، بیشتر نمونه‌ها در گستره IAT قرار دارند.

آمفیبول

از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی آمفیبول‌ها که بیشتر بر پایه بررسی‌های بیگانه سنگ‌های گوشته‌ای تعیین شده‌اند، برای مقایسه مشخصه‌های محیط زمین‌ساختی‌ماگمایی مختلف به ویژه محیط‌های فرورانش و میان صفحه‌ای استفاده می‌شود. [۳۳] آمفیبول‌های وابسته به فرورانش، مقدار TiO_2 (S- Amph) و Na_2O پایین‌تری نسبت به انواع میان صفحه‌ای (I-Amph) دارند [۳۳]. بر اساس نمودار رده‌بندی زمین‌ساختی ماگمایی، آمفیبول‌های بیگانه سنگ‌های مورد بررسی در گستره همپوشی دو محیط نام برده قرار دارند (شکل ۱۴). از سوی دیگر، مقدار Al^{IV} برابر با ۱/۵ به عنوان مرز جدایش محیط زمین‌ساختی ماگمایی آمفیبول‌ها در نظر گرفته شده است، به طوری که مقادیر بیشتر از ۱/۵ درصد به آمفیبول شکل گرفته در فشارهای حدود ۱۰ کیلوبار و در محیط‌های زمین‌ساختی جزایر قوسی و مقادیر کمتر به آمفیبول‌های تشکیل شده در کرانه‌های فعال قاره‌ای وابسته‌اند [۱۰، ۱۲، ۳۴]. بر این اساس با توجه به مقدار Al^{IV} (جدول۲) همه آمفیبول‌های نمونه‌های مورد بررسی مقادیر کمتر از ۱/۵ درصد داشته و در قلمرو کرانه‌ی فعال قاره‌ای وابسته به فرورانش قرار دارند.

دمافشارسنجی

پیروکسن

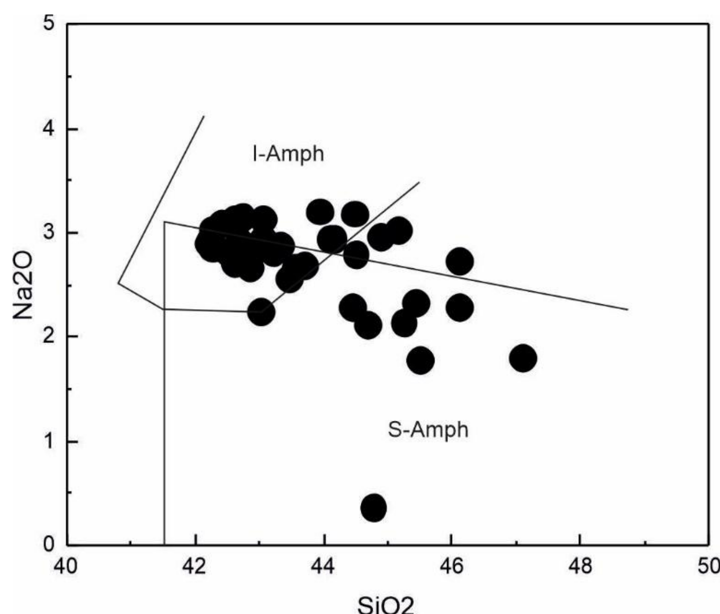
فشار سنجی کلینو پیروکسن‌ها به روش مرجع [۳۵]

نیمیس و المر [۳۵] واسنجی جدیدی را برای فشارسنجی پیشنهاد کردند که برای کلینوپیروکسن‌های با (Ca+Na) > 0.5 (apfu), $Mg/(Mg+Fe^{2+}) > 0.7$, and Al_2O_3/SiO_2 (wt%) < 0.375 (Al_2O_3 < 18 wt%) بکار می‌رود.

برای فشارسنجی کلینوپیروکسن‌ها در حالت مذاب بی‌آب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$P_{Cpx} (\pm1.75, kbar) = 771.48 - 1.323*VCell (Å^3) - 16.064*VM1 (Å^3) \quad (1)$$

مقادیر VCell, VM1 حجم یاخته‌های یکه ساختار کلینوپیروکسن هستند که در شرایط اتاق (فشار یک اتمسفر و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد) براساس داده‌های پراش اشعه X و یا بر اساس کاتیون‌ها (apfu) محاسبه می‌شوند. نتایج محاسبه برای مقایسه در جدول ۵ و شکل ۱۵ آورده شده است.

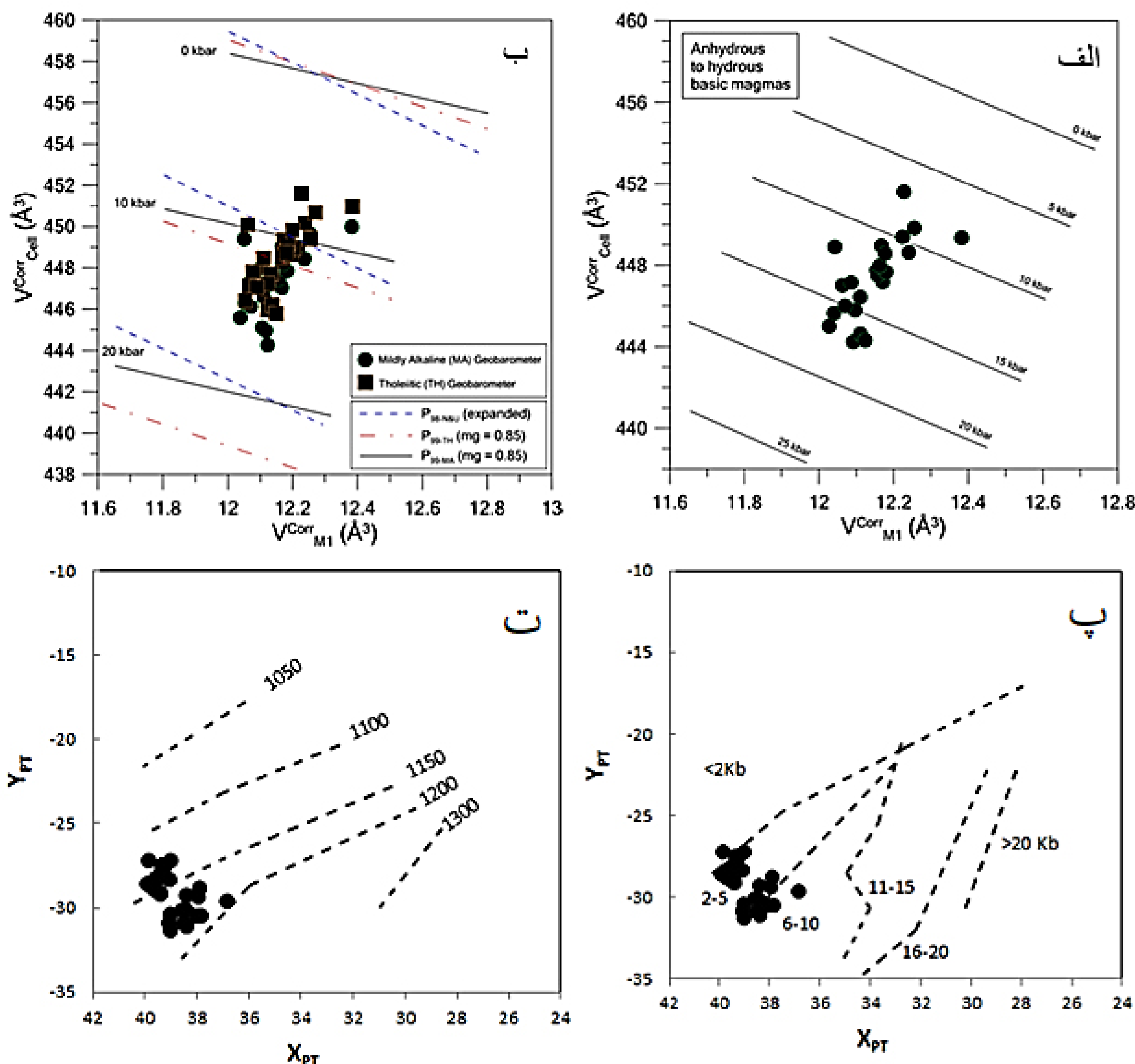


شکل۱۴ نمودار رده‌بندی زمین‌ساختی ماگمایی آمفیبول‌ها [۳۳].

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

جدول۵ نتایج فشارسنجی پیروکسن‌های منطقه مورد بررسی

روش No.	[۳۶]	[۳۰] (Th)	[۲۹] (MA)	[۳۷]	[۳۸]
P	۱۲/۷۱	۹/۳۹	۱۱/۷۹	۲۰/۶۸	۹/۸۱



شکل۱۵ الف) نمودار فشارسنجی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی [۳۶]، ب) نمودار فشارسنجی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در مذاب بی آب [۳۰]، پ) نمودار دما – فشار سنجی [۳۹]، ت) نمودار دماسنجی پیروکسن‌ها [۳۹].

فشارسنجی کلینو پیروکسن‌ها به روش مرجع [۳۰]

نیمیس [۳۰] برای محاسبه فشار تبلور کلینوپیروکسن ها در گستره وسیعی از ترکیب‌های ماگمایی از بازیک تا اسیدی و همچنین ماگماهای تولئیتی نیمه قلیایی و قلیایی متوسط به ترتیب روابط زیر را ارائه نمود:

$$P_{TH\text{-}Cpx}\ (\pm 1.00,\ kbar) = 537.003 - 1.017*VP,\ CeTll - 5.663*VP,\ MT1 - 2.722*mg \quad (۲)$$

$$P_{MA\text{-}Cpx}\ (\pm 1.10,\ kbar) = 621.151 - 1.220*VP,\ Ce_{Tll} - 4.620*VP,\ M_{T1} - 7.773*mg \quad (۳)$$

نتایج فشارسنجی به این روش نیز در جدول ۶ و شکل ۱۵ آورده شده است.

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

جدول۶ نتایج دماسنجی پیروکسن‌های منطقه مورد بررسی.

No. روش	[۴۰]	[۳۷]	[۴۱]	[۴۲]
T	۱۰۵۰/۴۱	۹۰۲/۸۳	۱۲۰۰/۵۹	۹۱۴/۳۴

دما – فشار سنجی کلینوپیروکسن ها به روش مرجع [۳۹]

در روش مرجع [۳۹] دما و فشار به‌صورت نموداری نمایش داده می‌شوند؛ محورهای X, Y بر اساس دو شاخص XPT و YPT به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$XPT = 0.446SiO_2 + 0.187TiO_2 - 0.404Al_2O_3 + 0.346FeO(tot) - 0.052MnO + 0.309MgO + 0.431CaO - 0.446Na_2O \quad (۴)$$

$$YPT = -0.369SiO_2 + 0.535TiO_2 - 0.317Al_2O_3 + 0.323FeO(tot) + 0.235MnO - 0.516MgO - 0.167CaO - 0.153Na_2O \quad (۵)$$

نتایج این روش در شکل ۱۵ آورده شده است که گستره دمایی کلینوپیروکسن‌ها را ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. همچنین فشار در سنگ‌ها بین ۲ تا ۱۰ کیلوبار است.

آمفیبول

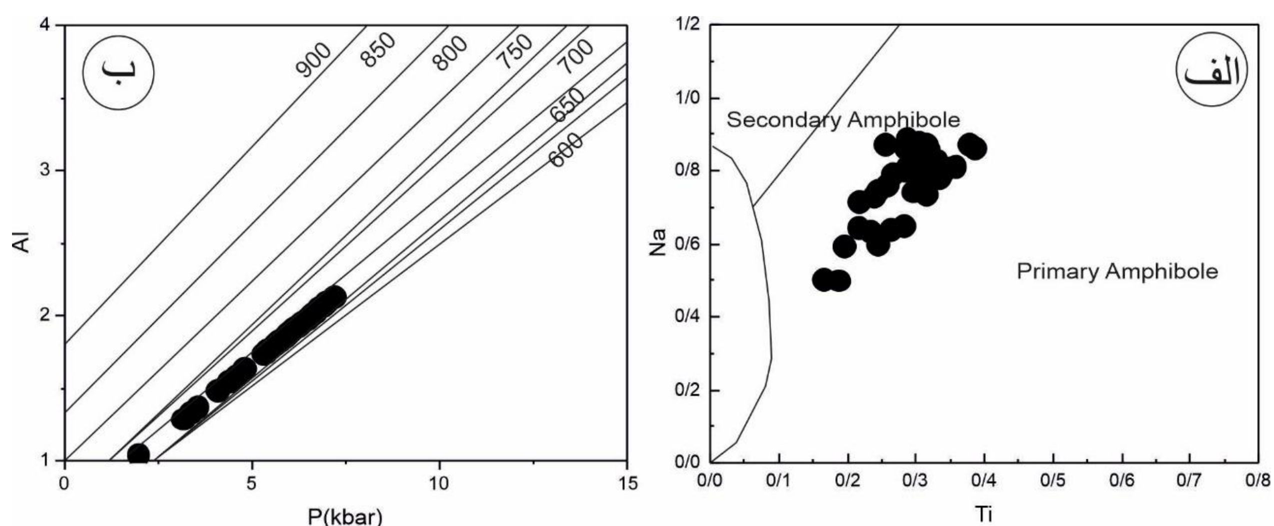
نمودار دوتایی Na نسبت به Ti می‌تواند اولیه و ثانویه بودن آمفیبول‌ها را مشخص نماید که بر این اساس، آمفیبول‌های سنگ میزبان و بیگانه سنگ‌های آن اغلب در گستره آذرین و اولیه قرار دارند (شکل ۱۶ الف). بررسی‌ها نشان داده است که ترکیب هورنبلند به شدت نسبت به تغییرات فشار و دما حساس است. با در نظر گرفتن معیار واسنجی در محاسبه فرمول آمفیبول بر اساس ۱۳ کاتیون و ۲۳ اکسیژن. برای فشارسنجی آمفیبول بر اساس مقادیر Al کل (A_{tot}) از رابطه زیر استفاده شد [۴۳]:

$$P(\pm 0.6kbar) = -3.01 + 4.76Al\ total \quad (۶)$$

براساس این رابطه، میانگین فشار برای سنگ‌های آتشفشانی بر پایه کانی‌های آمفیبول ۵،۸ کیلو بار برآورد شد، وینهال و همکاران نیز به منظور ارزیابی وابستگی‌های ممکن بین دما، فشار و ترکیب شیمیایی هورنبلند رابطه زیر را در فشارهای ۱ تا ۲۰ کیلوبار برای محاسبه دما پیشنهاد کرده‌اند [۳۴]:

$$T(^oC)=25.3P+654.9 \quad (۷)$$

مقدار فشار محاسبه شده با رابطه (۶) در این رابطه به کار رفته است [۴۳]. دماسنجی آمفیبول‌های مورد بررسی بر اساس این رابطه نشان‌دهنده دمای ۷۵۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد است (شکل ۱۶ ب).



شکل ۱۶ الف) نمودار Na نسبت به Ti آمفیبول‌های مورد بررسی [۳۷]، ب) نمودار فشار نسبت به Altot و موقعیت قرارگیری آمفیبول‌ها در آن [۳۸، ۴۳].

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

برداشت

بیگانه سنگ‌های دیوریتی- گابرویی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه منور در شمال غرب شهرستان تبریز دیده می‌شوند که بر اساس شواهد چینه‌ای سنگ میزبان آنها، گستره سنی از میو-پلیوسن تا پلیو-کواترنری دارند. ترکیب شیمی کانی‌های پلاژیوکلاز و آمفیبول به ترتیب از نوع الیگوکلاز تا آندزین و چرماکیت- هورنبلند هستند. میانگین فشار محاسبه شده بر اساس مقدار آلومینیوم برای بیگانه سنگ‌ها ۵/۸ کیلوبار بوده که معادل عمق تقریبی ۱۸ کیلومتر است. همچنین زمین- دماسنجی آمفیبول‌ها دمای تشکیل آنها را ۸۰۲ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های در بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی از نوع دیوپسید-اوژیت و سری ماگمایی آنها نیز نیمه‌قلیایی است. سازوکار جانشینی گسترده در کلینوپیروکسن‌های با جایگزینی در اثر تغییرات شرایط فیزیکی و شیمیایی Ti و Al در ماگمای مادر مربوط است. گریزندگی اکسیژن در ماگمای مادر پیروکسن‌ها بالا بوده است. با دما- فشارسنجی، برای تشکیل کلینوپیروکسن‌های بیگانه سنگ‌های دیوریت-گابرویی فشار بین ۹ تا ۱۵ کیلوبار و دما ۹۰۲ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد محاسبه شد. با توجه به نتایج تجزیه کلینوپیروکسن‌ها و نمودار Al^{IV} نسبت‌به Al^{VI} موجود در فرمول ساختاری آنها، مقدار آب ماگمایی در زمان تشکیل کلینوپیروکسن‌های موجود در بیگانه سنگ‌ها پایین بوده و این کانی در فشار بخار آب ۵ کیلوبار تشکیل شده است. با توجه به مقادیر Al^{VI} و آب موجود می‌توان نتیجه گرفت که گریزندگی اکسیژن در محیط تبلور بیگانه سنگ‌های موجود بالا بوده است.

قدردانی

نگارندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز بخاطر حمایت مالی و از داوران و مسئولین محترم مجله وزین بلور شناسی و کانی شناسی ایران به جهت تذکر موارد سودمند در جهت پربار شدن مقاله و تقبل زحمات زیاد در روند چاپ بموقع و منظم مقالات ابراز می‌دارند.

مراجع

[1] Stocklin J., *"Structural history and tectonics of Iran*", American Association of Petroleum Geologists Bulletin 1968, 52, 1229–1258.

[2] Amel N., *"Petrological study of the volcanic belt north of the Tabriz fault (Manoor region)*", University of Tabriz, 1995.

[3] Amel N., Moayyed M., Ameri A., Vosoghi Abedini M., Moazzen M., *"Petrogenesis of Plio-Quaternary basalts in Azerbaijan, NW Iran and comparisons them with similar basalts in the east of Turkey"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 2008, 16, 327–340.

[4] Amel N., *"Petrology and Petrogenesis of Plio- Quaternary magmatic rocks of Azerbaijan-NW Iran*", University of Tabriz, 2008.

[5] Gharechahi Z., *"Geochemical and mineral chemistry studies of Lamprophyric rocks of East Azarbaijan Province*", University of Tabriz, 2017.

[6] Amel N., *"Study of petrology and petrogenesis of lamprophyre dykes in the north of Tabriz (Manoor)*", In Proceedings of the 3th conference of the Geological Society of Iran; Universit of Shiraz, 2000; pp. 401–411.

[7] Moayyed M., Ghaderi M., Garechahi Z., Ahmadian J., *"Study of Petrography and petrogenesis of Monavvar area Spessartite dykes (East Azarbaijan Province)"*, Petrology 2023.

[8] MCBIRNEY A.R., NOYES R.M., *"Crystallization and Layering of the Skaergaard Intrusion*", Journal of Petrology 1979, 20, 487–554, doi:10.1093/petrology/20.3.487.

[9] Shelly D., *"Igneous and metamorphic rocks under microscope*", Chapman and Hall 1993.

[10] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "*An introduction to the rock-forming minerals. Second edition"*, 1992; ISBN 0582300940.

[11] Kharbish S., *"Geochemistry and magmatic setting of Wadi El-Markh island-arc gabbro--diorite suite, central Eastern Desert, Egypt*", Geochemistry 2010, 70, 257–266.

[12] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., *"Report. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names"*, Mineralogical magazine 1997, 61, 295–321.

[13] Coulson I.M., *"Evolution of the North Qôroq centre nepheline syenites, South Greenland: alkali-mafic silicates and the role of metasomatism"*, Mineralogical Magazine 2003, 67, 873–892.

[14] Droop G.T.R., *"A general equation for estimating Fe3+ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria*", Mineralogical

[DOI: 10.61186/ijcm.31.4.663]

geochemistry of shoshonitic plutons from the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China: Implications for granitoid geneses", Lithos 2002, 63, 165–187, doi:10.1016/S0024-4937(02)00140-8.

[27] Nachit H., Ibhi A., Ohoud M. Ben, *"others Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites*", Comptes Rendus Geoscience 2005, 337, 1415–1420.

[28] Nisbet E.G., a. Pearce, "*J. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 1977, 63, 149–160, doi:10.1007/BF00398776.

[29] Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girard D., Marchal M., *"Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series*", Earth and Planetary Science Letters 1982, 59, 139–154.

[30] Nimis P., *"Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. Part 2. Structural geobarometers for basic to acid, tholeiitic and mildly alkaline magmatic systems*", Contributions to Mineralogy and Petrology 1999, 135, 62–74, doi:10.1007/s004100050498.

[31] Verhoogen J., *"Distribution of titanium between silicates and oxides in igneous rocks"*, American Journal of Science 1962, 260, 211–220.

[32] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G.B., Zeda O., *"Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator*", *Chemical* Geology 1989, 77, 165–182, doi:10.1016/0009-2541(89)90073-9.

[33] Coltorti M., Bonadiman C., Faccini B., Grégoire M., O'Reilly S.Y., Powell W., *"Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle*", Lithos 2007, 99, 68–84.

[34] Vyhnal C.R., McSween H.Y., Speer J.A., *"Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: implications for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability"*, American Mineralogist 1991, 76, 176–188.

[35] Nimis P., Ulmer P., *"Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. Part 1: An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 1998, 133, 122–135, doi:10.1007/S004100050442.

[36] Nimis P., Ulmer P., *"Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks Part 1: An expanded structural geobarometer for anhydrous and hydrous, basic and ultrabasic systems"*, magazine 1987, 51, 431–435.

[15] Papike J.J., *"Amphiboles and pyroxenes: Characterization of other than quadrilateral components estimates of ferric iron from microprobe data*", In Proceedings of the Geological Society of America Abstracts with Programs; 1974; Vol. 6, pp. 1053–1054.

[16] Le Bas M.J., *"The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage*", American Journal of Science 1962, 260, 267–288.

[17] Grove T.L., Bryan W.B., *"Fractionation of pyroxene-phyric MORB at low pressure: an experimental study*", Contributions to Mineralogy and Petrology 1983, 84, 293–309.

[18] Morimoto N., Fabrie J., Ferguson A.K., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., *"Nomenclature of pyroxenes: Mineralogical Magazine"*, Mineralogical Magazine 1988.

[19] France L., Ildefonse B., Koepke J., Bech F., *"A new method to estimate the oxidation state of basaltic series from microprobe analyses*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 2010, 189, 340–346, doi:10.1016/J.JVOLGEORES.2009.11.023.

[20] Kress V.C., Carmichael I.S.E., *"The compressibility of silicate liquids containing Fe 2 O 3 and the effect of composition, temperature, oxygen fugacity and pressure on their redox states.* Contributions to Mineralogy and Petrology 1991, 108, 82–92.

[21] Kilinc A., Carmichael I.S.E.E., Rivers M.L.; Sack R.O., *"The ferric-ferrous ratio of natural silicate liquids equilibrated in air*", Contributions to Mineralogy and Petrology 1983, 83, 136–140, doi:10.1007/BF00373086.

[22] Botcharnikov R.E., Koepke J., Holtz F., McCammon C., Wilke M., *"The effect of water activity on the oxidation and structural state of Fe in a ferro-basaltic melt*", Geochimica et Cosmochimica Acta 2005, 69, 5071–5085.

[23] Moretti R., *"Polymerisation, basicity, oxidation state and their role in ionic modelling of silicate melts*", Annals of Geophysics 2005.

[24] Schweitzer E.L., Papike J.J., Bence A.E., *"Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts*", American Mineralogist 1979, 64, 501–513.

[25] Foster M.D., *"Interpretation of the composition of trioctahedral micas"*, US Geol. Surv. Prof. Pap., B 1960, 354, 1–49.

[26] Jiang Y.H., Jiang S.Y., Ling H.F., Zhou X.R., Rui X.J., Yang W.Z., *"Petrology and*

system?", Earth and Planetary Science Letters 1985, 76, 109–122, doi:10.1016/0012-821x(85)90152-9.
[41] Putirka K.D., *"Thermometers and Barometers for Volcanic Systems"*, Reviews in Mineralogy and Geochemistry 2008, 69, 61–120, doi:10.2138/rmg.2008.69.3.
[42] Negro A.D., Carbonin S., Molin G.M., Cundari A., Piccirillo E.M., *"Intracrystalline Cation Distribution in Natural Clinopyroxenes of Tholeiitic, Transitional, and Alkaline Basaltic Rocks*", Advances in Physical Geochemistry 1982, 117–150.
[43] Schmidt M.W., *"Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer"*, Contributions to mineralogy and petrology 1992, 110, 304–310.
Contributions to Mineralogy and Petrology 1998, 133, 122–135, doi:10.1007/s004100050442.
[37] Nimis P., Taylor W.R., *"Single clinopyroxene thermobarometry for garnet peridotites. Part I. Calibration and testing of a Cr-in-Cpx barometer and an enstatite-in-Cpx thermometer"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 2000, 139, 541–554, doi:10.1007/s004100000156.
[38] Putirka K.D., *"geochemistry K.P.-R. in mineralogy and; 2008, undefined Thermometers and Barometers for Volcanic Systems"*, Reviews in Mineralogy and Geochemistry 2008, 69, 61–120, doi:10.2138/rmg.2008.69.3.
[39] Soesoo A., *"A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: Empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations"*, *GFF* 1997, *119*, 55–60.
[40] Bertrand P., *"Mercier J.-C.C. The mutual solubility of coexisting ortho- and clinopyroxene: toward an absolute geothermometer for the natural*